

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Měření vnitřního pokrytí pomocí bezdrátových technologií

802.11

Measurement of Indoor Signal Coverage Using Wireless
802.11 Technologies

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Aleš Vanderka

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Měření vnitřního pokrytí pomocí bezdrátových technologií 802.11
Measurement of Indoor Signal Coverage Using Wireless 802.11
Technologies

Zásady pro vypracování:

1. Popis bezdrátových technologií dle standardu 802.11.
2. Simulace a plánování vnitřního pokrytí budovy dle standardu 802.11 v prostředí I-Prop.
3. Měření vnitřního pokrytí budovy pomocí technologie 802.11.
4. Závěr a vyhodnocení naměřených a simulovaných dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

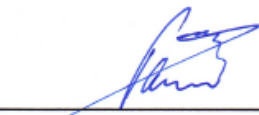
Podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Látal**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 5. května 2011

Podpis:

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Látalovi a Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi v průběhu práce poskytli.

Abstrakt

Tato práce se zabývá bezdrátovými technologiemi standardu IEEE 802.11 v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz. Bezdrátové sítě jsou v dnešní době velmi rozšířené a využívány především pro připojení k internetu. Práce seznamuje čtenáře se základními termíny, které souvisejí s problematikou bezdrátových sítí, typy sítí, dostupné standardy, zabezpečení a možnosti řízení sítě.

V další části, práce přibližuje problémy stávající sítě, jejich měření a simulace. Navrhuje postup řešení stávajícího nekvalitního pokrytí školní budovy signálem a tím i k snazšímu přístupu k internetu.

Klíčová slova

Wi-Fi sítě, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, simulace, úroveň signálu, přístupový bod, rušení, kanály, spektrum.

Abstract

This work deals with the wireless technology IEEE 802.11 2.4 GHz and 5 GHz. Wireless networks are nowadays very extended and used mainly for Internet connection. The work introduces readers with the basic terms related to issues of wireless networks, network types, accessible standards, security and network management options.

In the next section, the paper approximate the problems of the existing network, their measurement and simulation. It proposes to procedure for solving the existing school buildings of poor signal coverage and thus to facilitate access to the Internet.

Keywords

Wi-Fi network, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, simulation, signal level, access point, interference, channel, spectrum.

Seznam použitých symbolů a zkratek

AES - Advanced Encryption Standard

AP - Access Point

BSS - Basis Service Set

CA - Collision Avoidance

CCK - Complementary Code Keying

CCMP - Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol

CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CTS - Clear To Send

DSSS - Direct-Sequence Spread Spectrum

DFIR - Diffused Infrared

EAP - Extensible Authentication Protocol

ESS - Extended Service Set

ESSID - Extended Service Set Identifier

FHSS - Frequency-Hopping Spread Spectrum

LAP - Lightweight Access Point

MAC - Media Access Control

MIC - Message Integrity Code

MIMO - Multiple Input Multiple Output

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

RSN - Robust Security Network

RTS - Request To Send

SDM - Spatial Division Multiplexing

SSID - Service Set Identifier

VLAN - Virtual Local Area Network

WEP - Wired Equivalent Privacy

WEP2 - 802.11i

Wi-Fi - Wireless Fidelity (převzaté z High Fidelity – Hi-Fi)

WLAN - Wireless LAN

WLC - Wireless LAN Controller

WPA - Wi-Fi Protected Access

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Technologie 802.11.....	11
2.1	Komponenty sítě [1][13].....	11
2.2	Typy sítí [1][13].....	11
2.2.1	Ad-Hoc sítě	12
2.2.2	Infrastrukturní sítě.....	12
2.2.3	Bezdrátové přemostění sítí.....	14
2.3	Popis standardů IEEE 802.11 [1] [2] [3] [4]	14
2.3.1	IEEE 802.11a	15
2.3.2	IEEE 802.11b	16
2.3.3	IEEE 802.11g.....	16
2.3.4	IEEE 802.11n.....	17
2.3.5	Dostupné rádiové frekvence.....	18
2.4	Zabezpečení standardu 802.11abg [5] [6][7]	20
2.4.1	Zablokování vysílání SSID	20
2.4.2	SSID a VLAN	20
2.4.3	MAC filtr.....	20
2.4.4	WEP	21
2.4.5	WEP+	21
2.4.6	WEP2	21
2.4.7	WPA.....	22
2.4.8	WPA2.....	22
2.5	WLC.....	23
3	Přenos signálu	23
3.1	Útlum signálu ve volném prostředí [8]	23

3.2	Vlastnosti průchodu signálu překážkami [1].....	24
3.2.1	Reflexe, refrakce (odraz, lom).....	24
3.2.2	Interference (vícecestné šíření)	24
3.2.3	Difrakce (ohyb)	24
3.2.4	Rozptyl	24
3.3	Výpočet útlumu překážkami [8].....	25
3.4	Fresnelova zóna [8]	26
3.5	Výpočet výkonu AP [9]	27
3.5.1	Nařízení ČTÚ	27
3.5.2	Převod výkonu ve Wattech na dBm.....	28
3.6	Modely pro plánování vnitřních prostor [10]	29
3.6.1	One-Slope model.....	29
3.6.2	Multi-Wall model.....	30
4	Měření a simulace	31
4.1	Měření útlumu stavebních materiálů a polarizace.....	31
4.1.1	Použité přístroje [11] [12]	31
4.1.2	Vliv polarizace na sílu signálu	34
4.1.3	Měření útlumu vlivem překážek	35
4.2	Simulace aktuálního stavu v I-prop.....	38
4.2.1	Co je program I-prop [16]	38
4.2.2	Podklady pro simulaci.....	38
4.2.3	Nastavení simulace v I-prop.....	40
4.2.4	Rozmístění přístupových bodů a simulace.....	41
4.3	Měření aktuálního stavu	43
4.3.1	Použité přístroje	43
4.3.2	Postup měření.....	45

4.3.3	Porovnání naměřených a simulovaných dat.....	46
4.3.4	Měření dostupných přenosových rychlostí pomocí Iperf [14]	52
4.3.5	Měření rušení a spektra pomocí MetaGeek Wi-Spy [15].....	56
4.4	Simulace návrhu nového rozmístění přístupových bodů	59
5	Závěr	61
6	Literatura.....	62

1 Úvod

Bezdrátovou sítí se označuje spojení dvou nebo více počítačů bez použití kabeláže. Tato síť využívá pro přenos dat šíření mikrovlnných vln ve volném prostoru. Díky použití pásma ISM (2,4 GHz) a části pásma 5 GHz zaznamenaly tyto sítě velký rozmach, jak pro pokrytí budov, tak pro distribuci internetu uživatelům na velké vzdálenosti.

Cílem této práce je seznámení s bezdrátovými technologiemi standardu IEEE 802.11, základními termíny, typy sítí, dostupné standardy, zabezpečení a možnosti řízení sítě. Teoretická část se dále zabývá teorií přenosu radiových signálů ve volném prostředí i uvnitř budov. Jsou zde také popsány principy a výpočty modelů pro simulaci.

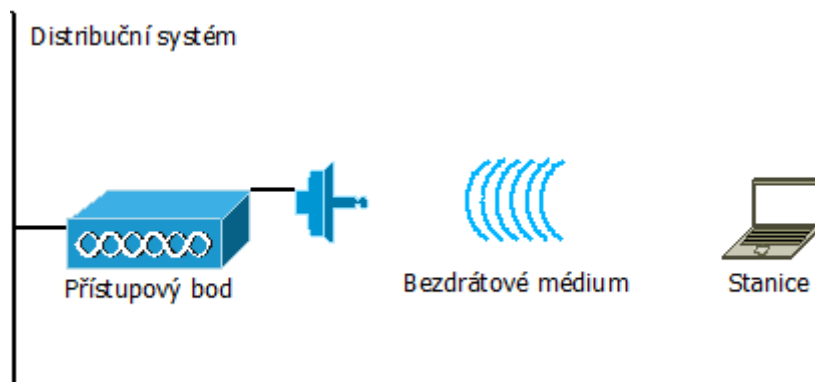
V části zabývající se analýzou stávajícího stavu pokrytí budovy, jsou popsány postupy simulace a měření. Zde byl zhodnocen stávající stav pokrytí budovy a porovnány simulované a naměřené hodnoty úrovně signálu od přístupových bodů. Dále byly změřeny dostupné rychlosti a také proběhla analýza využití a rušení dostupných kanálů.

Na základě analýzy stávajícího stavu pokrytí, kdy se simulovaná data shodovala s daty naměřenými, byla navržena a simulována bezdrátová síť, která už pokrývá signálem dokonale celou budovu.

2 Technologie 802.11

2.1 Komponenty sítě [1][13]

Pro lokální bezdrátové sítě se často používá zkratka WLAN (Wireless Local Area Network). Tato síť je velice podobná Ethernetu. Tyto sítě jsou vůči Ethernetu rozšířeny hlavně o management sítě.



Obrázek 1: Komponenty sítě 802.11

Distribuční systém je logický komponent, který směřuje data na určitou stanici, využívá se v okamžiku použití více přístupových bodů v síti. Nejčastěji je systém řešen jako síťový most s distribučním médiem, kterým je páteřní síť (Ethernet).

Přístupový bod AP je nejdůležitější komponent. Přemostňuje připojení mezi bezdrátovou a kabelovou sítí.

Bezdrátové médium umožňuje přesun dat mezi stanicemi (v 802.11) ve volném prostředí pomocí dvou radiových rozsahů (2.4 a 5 GHz) a také infračerveným přenosem.

Stanice je jakékoliv zařízení opatřené Wi-Fi kartou (počítač, notebook, mobilní telefon...).

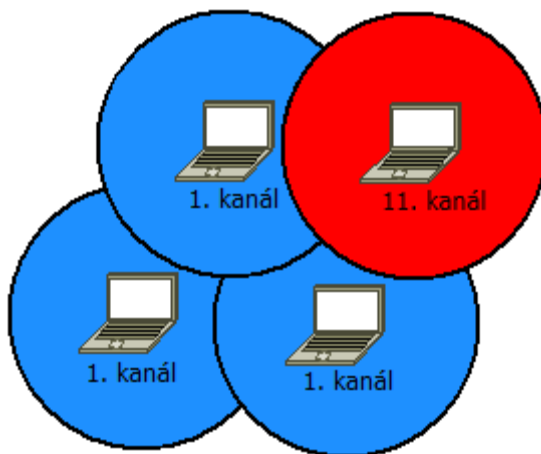
2.2 Typy sítí [1][13]

Základní stavební blok sítě 802.11 je označován jako BSS (Basic Service Set). Je to skupina stanic, která spolu komunikuje. Tyto stanice komunikují na území, které je vymezeno průnikem dosahů těchto stanic. Tento prostor označujeme jako BSA (*Basic Service Area*). Stanice, které se nacházejí v BSA, mohou komunikovat s dalšími stanicemi v BSS. Podle toho, jak se uskutečňuje komunikace mezi členy BSS rozdělujeme sítě do dvou hlavních typů Ad-Hoc a infrastrukturní sítě.

2.2.1 Ad-Hoc síť

Lze je také nazývat nezávislé síť či síť peer-to-peer. V této síti spolu komunikují jednotlivé stanice podle potřeby přímo, tudíž bez společného uzlu (přístupového bodu). Dělí se o celou šířku pásma dostupnou v buňce v závislosti na standartu a vzdálenosti.

Takto nezávislá síť se nazývá IBSS (Independent Basic Service Set) a nabízí omezenému počtu klientů, kteří se svými dosahy vzájemně prolínají, možnost oboustranné komunikace bez nutnosti velkého plánování sítě. Tyto sítě se zakládají většinou krátkodobě jen k výměně dat.



Obrázek 2: Sít' Ad-Hock

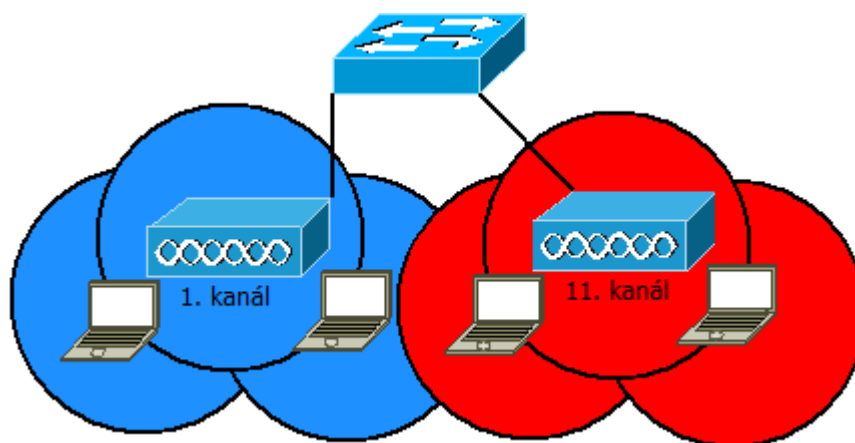
Stanice, které společně chtějí komunikovat, musejí být ve vzájemném rádiovém dosahu. S přibývajícími stanicemi se zvyšuje dosah sítě. Pokud je více sítí typu IBSS vzájemně v dosahu, je zapotřebí zvolit kanál, který není v okolním prostředí ještě využit.

2.2.2 Infrastrukturní síť

Infrastrukturní síť mají přesně vymezenou infrastrukturu, obsahují síťový komponent, přístupový bod takzvané AP. AP je rozhraní, které umožňuje komunikaci mezi bezdrátovou a drátovou sítí nazývanou se most (bridge), ale také slouží k propojení více než jedné bezdrátové stanice, která se nachází v rádiovém dosahu. Tyto stanice mohou přes AP vzájemně komunikovat, také se mohou připojit přes most do kabelového Ethernetu, nebo do jiného typu

sítě. Komunikace pomocí infrastrukturních sítí probíhá pomocí dvou skoků. Nejprve se přenesou data na přístupový bod a z něj na druhou stanici.

Jednoduché uspořádání sítě Wireless LAN s přístupovým bodem se nazývá BSS (Basic Service Set). Využívá se hlavně pro pokrytí malých prostor, jako jsou bytové jednotky a malé kanceláře.



Obrázek 3: Infrastrukturní síť

Při rozšíření této sítě o další přístupové body se tato síť nazývá ESS (Extended Service Set). Tento typ sítě umožňuje rozšířit bezdrátovou síť na velkou plochu, používá se pro pokrytí celých pater velkých budov. Účastník může přecházet mezi přístupovými body, kdy Wi-Fi karta vyhledává nejsilnější signál přístupového bodu se stejným SSID a připojuje se k němu. Účastník přepojování mezi přístupovými body nepostřehne. Toto přepojování se nazývá „roaming“. Sousední přístupové body musí vysílat stejné SSID, měly by být od jednoho výrobce a se stejným nastavením.

Aby nedocházelo k rušení od okolních přístupových bodů, sousední přístupové body by měly vysílat na různých kanálech.

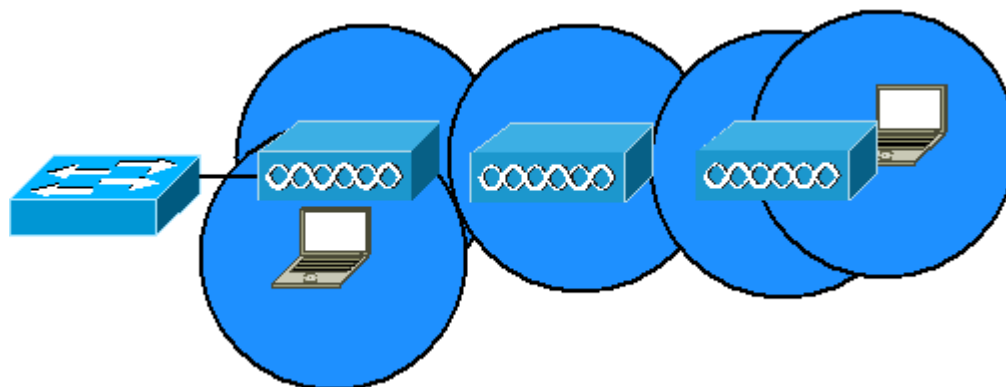
2.2.3 Bezdrátové přemostění sítí

Pro rozsáhlé sítě lze také využít přístupové body, které pracují ve speciálních režimech nebo přímo v režimu Wireless Bridges (bezdrátové mosty). Tento most spojuje dvě sítě. Všechny pakety z jedné sítě přenesou do druhé a naopak, tím je síť fyzicky propojena.

Point to Point Bridge slouží pro propojení dvou kabelových sítí, obě zařízení musejí mít stejné SSID a vysílat na stejném kanále. V zařízení musí být stejné konfigurace a nastavena MAC adresa protějšku zařízení.

Point to Multipoint Bridge slouží pro propojení více než dvou sítí. Zařízení se automaticky postará o nastavení MAC adres.

Repeater je kombinace Access Point a Point to Multipoint Bridge. V rámci jedné bezdrátové buňky může každý uživatel v ní umístěný, přistupovat k WLAN. Díky tomu lze dosah bezdrátové sítě nekonečně zvětšovat.



Obrázek 4: Opakovač

2.3 Popis standardů IEEE 802.11 [1] [2] [3] [4]

V roce 1990 byla založena 11. pracovní skupina IEEE LAN/MAN standardizační komise IEEE 802 (802.11 Wireless Local Area Networks Standards Working Group in 1990), která se zabývala vývojem bezdrátové alternativy Ethernetu v bezlicenčním pásmu 2,4GHz. Standard IEEE 802.11 byl vydán v roce 1997. Rychlost sítí, které pracovaly na tomto standardu, byla 1Mbit/s nebo 2 Mbit/s, ale Ethernetové sítě pracovaly v této době již na 10Mbit/s. Tento standard byl už při svém schválení zastaralý, proto pokračovaly další práce na jeho vývoji.

Byly zvoleny 3 alternativní fyzické přenosové technologie:

FHSS - u rozprostřeného spektra s přeskokováním kmitočtů se přenosové pásmo dělí okolo 2,4 GHz do 75 podkanálů každý o šířce 1 MHz (2,4 až 2,4835 GHz). Komunikující strany se domlouvají sekvencí přeskokování. Spojení dvou stanic na jednom podkanále je aktivní maximálně 400 milisekund, poté přeskakuje na jiný pod kanál a tím se omezuje rušení. Přeskakování se odehrává podle různých klíčů (sekvencí), které zná jen vysílací a přijímací strana, tím se omezuje odposlouchávání komunikace neoprávněnou osobou. Povinná rychlost je 1 Mbit/s, volitelně 2 Mbit/s.

DSSS - u přímo rozprostřeného spektra je každý jednotlivý bit určený k přenosu, nejprve nahrazen určitou početnější sekvencí bitů (tzv. chipů) Tyto sekvence mají nejčastěji pseudonáhodný charakter. Pro jejich vytváření se využívají například Goldovy či Barkerovy kódy. Tato sekvence bitů je pak skutečně přenášena. Jde tedy o umělé zavedení nadbytečnosti. Signál je rozprostřen do větší části rádiového spektra, je méně citlivý vůči rušení. Signál se ostatním uživatelům jeví jako náhodný šum. Bez znalosti mechanismu vytváření původní pseudonáhodné sekvence, je pro ně obtížné získat zpět přenášená data. Dosahované rychlosti jsou 1 nebo 2 Mbit/s (obě povinně, nižší rychlost je jako záloha pro případy s rušeným prostředím).

DFIR - infračervený přenos v pásmu 300 - 428 GHz lze použít jen omezeně, protože světelné paprsky neprocházejí nebo se odrážejí od pevných nebo kapalných materiálů. Povinná rychlost 1 Mbit/s, volitelná 2 Mbit/s.

2.3.1 IEEE 802.11a

Pracuje v licenčním pásmu 5 GHz (5,1 - 5,3 GHz a 5,725 - 5,835 GHz), které je méně vytíženo a umožňuje použití více kanálů bez vzájemného rušení (až 12 kanálů) než pásmo 2,4 GHz. Teoretickou přenosovou rychlost má 54 Mbit/s (skutečná přenosová rychlost se pohybuje do 30 - 36 Mbit/s), v tzv. turbo režimu používá modulaci OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Dosah v interiéru je do 35 m a v exteriéru do 120 m.

OFDM je širokopásmová modulace využívající kmitočtové dělení kanálu. Pracuje s tzv. rozprostřeným spektrem, kdy je signál vysílán na více nezávislých frekvencích, což zvyšuje odolnost vůči interferenci.

2.3.2 IEEE 802.11b

Byl vydán v roce 1999, pracuje v bez licenčním pásmu 2,4 GHz na bázi rozprostřeného spektra jako původní standard IEEE 802.11. V tomto standardu je zrychlen přenos až na 11 Mbit/s (reálná přenosová rychlost se pohybuje do 5-6 Mbit/s). Zvýšení rychlosti bylo dosaženo změnou použité modulace na CCK (Complementary Code Keying). Zařízení na tomto standardu trpí rušením od dalších přístrojů, které pracují na frekvenci 2,4 GHz jako mikrovlnné trouby, bluetooth zařízení (IEEE 802.15.1) a další. Dosah v interiéru je do 38 m a v exteriéru do 300 m. V České republice se používá 13 kanálů v rozsahu kmitočtů od 2,412 - 2,472 GHz. Odstup mezi kanály je 5 MHz. Celkem lze využít 3 nepřekrývající se kanály.

2.3.3 IEEE 802.11g

Je nástavbou nad IEEE 802.11b. Pracuje ve stejném bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. IEEE 802.11bg jsou zpětně kompatibilní, ale liší u nich řešení fyzické vrstvy, proto IEEE 802.11g používá modulační schéma OFDM nebo DSSS (pro IEEE 802.11b). Toto je mechanismus RTS/CTS, který byl původně vyvinut jako doplněk k naslouchání nosné podle CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) pro řešení problému skrytého uzlu ve standardu IEEE 802.11b. Spouští se tehdy, když se připojí klient 802.11b k síti 802.11g. Klient musí nejprve požádat přístupový bod o vysílání prostřednictvím zprávy RTS (Request-To-Send) a počká s komunikací do té doby, než dostane od přístupového bodu povolení ve formě CTS (Clear-To-Send). Pro ostatní klienty tato zpráva znamená zákaz vysílání. Díky mechanismu RTS/CTS se zamezí současnému vysílání (kolizím) klientů 802.11gb.

Pokud dojde ke kolizi, musí si klienti zvolit náhodně dlouhou dobu čekání (back off), než se znovu pokusí vysílat. Tuto dobu si volí výběrem jednoho z časových úseků. U IEEE 802.11b jich je k dispozici 31 o délce 20 s, u IEEE 802.11g (po vzoru IEEE 802.11a) pouze 15 o délce 9 s. IEEE 802.11g bez klientů IEEE 802.11b bude mít kratší dobu čekání a lepší výkonnost zejména s rostoucím počtem uživatelů připojených k síti. Pokud se budou v jedné síti nacházet klienti také IEEE 802.11b, pak IEEE 802.11g přejde na režim IEEE 802.11b s delší dobou čekání.

U tohoto standardu je zvýšena rychlost až na 54 Mbit/s (skutečná propustnost okolo 22 Mbit/s) díky použité modulaci OFDM. Propustnost se ale snižuje, pokud se připojí klient se standardem IEEE 802.11b z důvodu režie, až na 8 Mbit/s.

Také zde trpí zařízení na tomto standardu rušením od dalších přístrojů, které pracují na frekvenci 2,4 GHz. Dosah v interiéru je do 38 m a v exteriéru do 140 m.

2.3.4 IEEE 802.11n

Tento standard vyšel v roce 2007. Je zpětně kompatibilní se standardy IEEE 802.11abg. Přidává technologii MIMO, dále zdvojnásobuje šířku kanálu na 40 MHz ve fyzické vrstvě PHY a funkci shlukování rámců na podvrstvě MAC. Proto tato technologie dosahuje skutečných rychlostí až 130 Mbit/s. IEEE 802.11n používá modulační schéma OFDM.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) je technologie, která má vyšší citlivost čipsetu s několikanásobným vysílačem a vyšším počet antén.

Tato technologie zvládá i vícecestné šíření signálu (zpoždění odraženého signálu oproti signálu v přímém směru).

Způsoby přenosu dat podle MIMO:

SDM (Spatial Division Multiplexing) přenáší různá data na každém kanálu pro přímé zvýšení propustnosti, zatímco prostorová diverzita přenáší stejná data na každém kanále, což díky redundanci přenosu přispívá ke zvýšení robustnosti systému a zlepšení pokrytí.

Formováním paprsku (Beam Forming) se řídí směřování a tvar vysílaného signálu v MIMO.

Šířka kanálu 40 MHz používá 2 samostatné nepřekrývající se kanály (2 krát sousední 20 MHz kanály, tím zdvojnásobuje přenosovou rychlost na fyzické vrstvě).

Standard	Kmitočtové pásmo [GHz]	Max. teoret. rychlost [Mbit/s]	Max. reálná rychlost [Mbit/s]	Dostupné přenosové rychlosti [Mbit/s]	Mechanismus přenosu
802.11b	2,4 - 2485	11	do 6	11, 5,5, 2, 1	DSSS
802.11a	5,1 - 5,3 a 5,725 - 5,825	54	do 36	54, 48, 36, 24, 12, 9, 6	OFDM
802.11g	2,4 - 2485	54	do 30	54, 48, 36, 24, 18, 12, 11, 9, 6, 5,5, 2, 1	OFDM DSSS
802.11n	2,4 - 2485 a 5,1 - 5,3 a 5,725 - 5,825	150	do 130	šířka pásma 20MHz: 7,2, 14,4, 21,7, 28,9, 43,3, 57,8, 65, 72,5 šířka pásma 40MHz :15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	MIMO-OFDM

Tabulka 1: Popis standardů 802.11

2.3.5 Dostupné rádiové frekvence

Pro standardy IEEE 802.11bg je přidělena frekvence 2,4 GHz. Systémy s frekvenčními proskoky si dělí celé spektrum do 79 (75) kanálů. Ale nejčastěji se používá rozprostřené spektrum, které dělí celé spektrum do 14 kanálů. Frekvence uvedená v tabulce je střední frekvence.

Kanál	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Frekvence [GHz]	2,412	2,417	2,422	2,427	2,432	2,437	2,442	2,447	2,452	2,457	2,462	2,467	2,472	2,484

Tabulka 2: Rádiové frekvence rozprostřeného spektra (IEEE 802.11b a IEEE 802.11g)

Země	kanály
USA a Kanada	1 - 11
Evropa mimo Francie a Španělska (ETSI konvence)	1 - 13
Francie	10 - 13
Španělsko	10 - 11
Japonsko	14

Tabulka 3: Dostupné rádiové kanály podle území

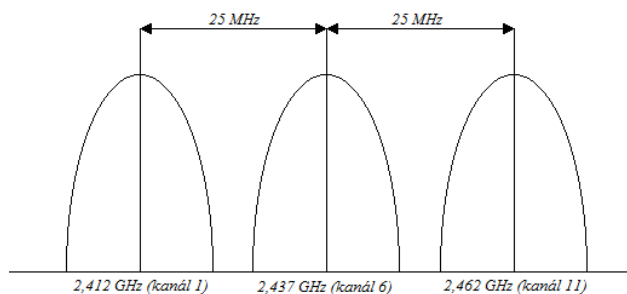
Pro standard IEEE 802.11a je přidělena frekvence 5GHz a má dostupných 104 kanálů.

Kanál	36	40	44	48	52	56	60	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140
Frekvence [GHz]	5,180	5,200	5,220	5,240	5,260	5,280	5,300	5,320	5,500	5,520	5,540	5,560	5,580	5,600	5,620	5,640	5,660	5,680	5,700

Tabulka 4: Rádiové frekvence IEEE 802.11a

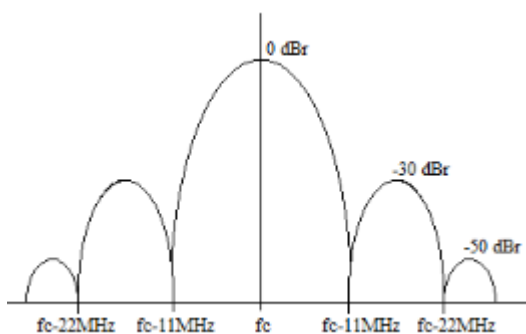
V České republice máme k dispozici v pásmu 2,4 GHz 13 kanálů, ale nejsou to plnohodnotné kanály. Jelikož provoz rozprostřeného spektra vyžaduje 22 MHz a kanály mají odstup 5 MHz, tudíž vysílání na jednom kanále překrývá sousední čtyři kanály. Tedy vysílání na jednom plnohodnotném kanále zabírá 25 MHz. Pokud chceme používat více přístupových bodů, které jsou vzájemně v dosahu, ale tak, aby se vzájemně nepřekrývaly a nerušily, máme

k dispozici pouze 3 samostatné kanály, které jsou od sebe vzdáleny 5 kanálů (minimální odstup mezi centrálními frekvencemi je 25 MHz).



Obrázek 5: Minimální odstup kanálů mezi středy frekvencí

Energie je rozprostřena tak, že při vzdálenosti 11 MHz od centrální frekvence je pokles o 30 dBr a při vzdálenosti 22 MHz od centrální frekvence klesne o 50 dBr. Tímto se snaží standard předcházet interferencím a rušení.



Obrázek 6: Kanálové spektrum jednoho kanálu

2.4 Zabezpečení standardu 802.11abg [5] [6][7]

Jelikož se informace v bezdrátových sítích přenášejí volným prostorem všemi směry okolo přístupového bodu, bylo zapotřebí tyto informace chránit před odposloucháváním. Pro zvýšení bezpečnosti, slouží mechanismy jako autentizace a šifrování.

2.4.1 Zablokování vysílání SSID

SSID je přihlašovací jméno řetězce ASCII dlouhé maximálně 32 znaků pro přístup k přípojnému bodu.

Tato blokáce SSID je v rozporu se standardem, ale jde o nejjednodušší metodu zabezpečení bezdrátové sítě, kdy je síť skryta (klientům se síť nezobrazí v seznamu dostupných bezdrátových sítí, protože nepřijímají broadcasty s SSID). Pokud klient pošle svou identifikaci v podobě správného SSID, připojí se k přípojnému bodu.

SSID se dá snadno zachytit, protože je přenášeno v otevřené podobě při připojování klienta k přípojnému bodu. Při snaze zachytit SSID, se dá využít i provokace klienta, kdy se do bezdrátové sítě vysílají rámce, které nutí klienta znovu se asociovat.

Proto se začalo používat ESSID (*Extended Service Set Identifier*), které přístupový bod nevysílá, takže přidružení do WLAN je povoleno pouze autorizovaným stanicím, které jeho hodnotu identifikátoru znají.

2.4.2 SSID a VLAN

SSID slouží k odlišení uživatelů WLAN na úrovni skupin. Jednotlivé skupiny pracují jako virtuální lokální sítě (VLAN). Každá skupina se může organizovat podle typu uživatelů nebo aplikací.

2.4.3 MAC filtr

MAC je jedinečný identifikátor síťové karty. Mohou se připojit jen ti klienti, kteří mají uvedeny MAC adresy síťových karet v seznamu povolených klientů v přístupovém bodě.

Toto zabezpečení může útočník obejít, pokud zjistí, které MAC adresy jsou povoleny. Pomocí karty, která umí klonovat MAC adresy, se může útočník připojit místo oprávněné stanice k přístupovému bodu.

2.4.4 WEP

2.4.4.1 Autentizace

Používá symetrický postup šifrování, kdy pro šifrování a dešifrování se používá stejný algoritmus i klíč. Autentizace může být buď **otevřená** (open system) nebo pomocí **sdíleného klíče** (shared key),

Otevřený systém umožňuje každému klientovi připojení k přístupovému bodu po přijetí identifikačních údajů klienta, nezáleží na WEP klíči. WEP klíč je využit jen pro šifrování dat.

Sdílený klíč je 40 bitový uživatelský klíč, který je statický a stejný pro všechny klienty v dané síti. Pro připojení k přístupovému bodu se neověřuje uživatel, ale jen MAC adresa síťové karty, což je jednou ze slabin v rámci WEP

2.4.4.2 Šifrování

V základní variantě algoritmu WEP se využívá proudové šifry RC4 k utajování informací a pro ověřování jejich správnosti se používá metoda CRC-32 kontrolního součtu. 64 bitový RC klíč obsahuje 40 bitový klíč a 24 bitový inicializační vektor. 128 bitový RC klíč obsahuje 104 bitový klíč a 24 bitový inicializační vektor. U některých zařízení se může vyskytovat také 256 bitový RC klíč. Inicializační vektor se posílá v otevřené formě a mění se obvykle s každým paketem.

Tento klíč lze rychle dešifrovat, proto se již nedoporučuje používat. Další rozšíření zabezpečení WEP je WEP+ a WEP2, ty jen dobu dešifrování prodlužují.

2.4.5 WEP+

Jde o lépe zabezpečený WEP od AGRE SYSTEMS, zde se soustředí na odstranění slabých inicializačních vektorů, podle kterých lze dešifrovat klíč.

Výhody toto zabezpečení fungují pouze tehdy, pokud je WEP+ používán na všech komunikujících stranách v bezdrátové síti.

2.4.6 WEP2

Jde také o lépe zabezpečený WEP, kde jsou rozšířeny inicializační vektory a zesíleno 128 bitové šifrování.

2.4.7 WPA

Tato dočasná náhrada za překonané zabezpečení WEP byla vydána v roce 2002, zároveň se pracovalo na zavedení WEP2, které mělo být kompatibilní se standardem IEEE 802.11i, na kterém se teprve v té době dokončovaly práce.

Data jsou zašifrována pomocí proudové šifrovací metody RC4 se 128 bitovým klíčem, oproti WEP má delší 48 bitový inicializační vektor (IV) a ještě TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*) je protokol dynamicky měnící klíče. TKIP protokol je již také prolomen. Nyní se dá použít WPA se šifrou AES, tato šifra nebyla ještě překonána.

AES (Advanced Encryption Standard) využívá symetrického klíče, data se postupně šifrují v blocích s pevnou délkou 128 bit. U AES je velká rychlost šifrování (na šifrování i dešifrování je použit stejný klíč).

Dále je zde vylepšena kontrola integrity (správnosti dat), jedná se o algoritmus MIC (*Message Integrity Code, kód integrity pro zprávy*), zde je zahrnuto počítadlo rámců, které chrání před útočníkem snažícím se o zopakování předchozí komunikace.

Toto zabezpečení se může využívat i na starém hardwaru, který podporoval WEP, ale nefunguje v ad-hoc sítích, kde lze použít jen WEP.

2.4.8 WPA2

Také známý jako IEEE 802.11i byl schválen v roce 2004 jako dodatek k IEEE 802.11. WPA2 vylepšuje šifrovací a autentizační mechanismus. Používá blokovou šifru AES. Přidává další algoritmus CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), který je založen na algoritmu AES a poskytuje utajení, integritu a autentizaci. Pro autentizaci dále používá IEEE 802.1X, což je EAP (Extensible Authentication Protocol) a autentizační server RADIUS. Pro udržování záznamu a asociaci používá RSN (Robust Security Network).

WPA2 rozdělujeme na WPA2 – Personal, který chrání síť před neoprávněným přístupem pomocí set-up password a WPA2 – Enterprise, který ověřuje uživatele sítě přes server, kde má každý uživatel svůj přidělený klíč.

2.5 WLC

Je centrální zpráva všech přístupových bodů v síti na jednom místě. Pokud spravujeme síť s mnoha přístupovými body, tak je jejich konfigurace a zpravování složité a zdlouhavé. Proto vzniklo WLC, které přebírá velkou část funkcí, které vykonávaly přístupové body. Síť se skládá z WLC a z přístupových bodů, nazývají se LAP (Lightweight Access Point) a musí pracovat v módu LWAPP. WLC řídí například výkony přístupových bodů, jejich kanály a sleduje rušení v jejich okolí.

Pro komunikaci mezi WLC a LAP se vytvoří šifrovaný tunel v samostatné VLAN. Zde se přenášejí řídicí příkazy i samotná komunikace klientů.

Na WLC existuje několik fyzických portů, jako jsou **AP-manager**, který zajišťuje šifrovanou komunikaci mezi AP a WLC, **management** slouží pro správu a přístup k administraci sítě, **virtual** není nikam fyzicky připojeno a řeší speciální funkce.

3 Přenos signálu

3.1 Útlum signálu ve volném prostředí [8]

Jsou ztráty, ke kterým dochází průchodem atmosférou bez překážek. Pro výpočet útlumu volného prostředí mezi vysílačem a přijímačem se používá tento vztah:

$$L_0 = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right), \quad (4.1)$$

Kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

L_0 - ztráty vlivem šíření volným prostorem; [dB]

d - vzdálenost mezi anténami; [m]

λ - vlnová délka; [m]

Příklad: Výpočet ztrát 6 m volného prostoru

d - 6 m

λ - 0,122 m (vlnová délka pro frekvenci 2,45 GHz)

$$L_0 = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 6}{0,122}\right) = 55,8 \text{ dB}$$

3.2 Vlastnosti průchodu signálu překážkami [1]

3.2.1 Reflexe, refrakce (odraz, lom)

Pokud rádiová vlna narazí na překážku, tak se část energie odrazí, část se absorbuje a zbytek oslabené vlny prochází překážkou. Například kovové materiály odráží veškerou energii vlny, naopak voda velkou část energie absorbuje. Odraz je také závislý na úhlu dopadu, tloušťce a elektrických vlastnostech materiálu.

3.2.2 Interference (vícecestné šíření)

Při použití všesměrových antén se signál šíří všemi směry a odráží se od stěn stopů a předmětů. Každý odražený signál má jinou dráhu tudíž i jinou dobu šíření (dochází k posunutí fáze a útlumu signálu). Rádiový signál je vlnění, které se v každém bodě skládá z protínajících se signálů. Například u standardu IEEE 802.11b nesmí zpoždění odražené vlny překročit 500 ns.

Vícecestné šíření hrozí hlavně ve vnitřních prostorách, kdy do přijímací antény dorazí odražený signál se zpožděním od přímého signálu. Problém s interferencí se řeší pomocí dvou antén, k příjmu je vybrána ta, která má lepší signál. K vysílání se používá jen jedna.

3.2.3 Difrakce (ohyb)

Je ohýbání vln kolem malých překážek a průchod vln malými otvory v místnostech. Vlna má schopnost se ohýbat kolem hrany za překážku. Výsledný signál závisí na tvaru hrany.

3.2.4 Rozptyl

Pokud jsou objekty v porovnání s vlnovou délkou menší, tak se směr šíření rozpadne do mnoha směrů. Výsledný signál bude rozptýlen ve všech směrech.

3.3 Výpočet útlumu překážkami [8]

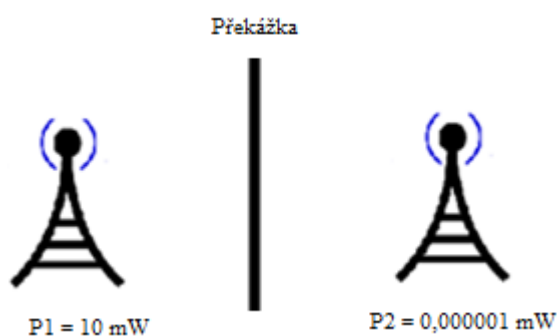
Tyto překážky mohou být pohyblivé (pohyb osob) nebo stacionární (stěny, různé předměty). Útlumy lze zjistit pomocí měření a následného výpočtu. Z výsledné hodnoty se odečte útlum volného prostoru mezi vysílači. Výsledný útlum je ovlivněn tloušťkou a materiálem překážky, kdy kov vlny odráží a voda vlny absorbuje. Útlum narůstá se zvětšující se frekvencí. Velikost útlumu překážkou lze spočítat dle následujícího vztahu:

$$L = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{1 \cdot 10^{-6}}{0,01} = -60 \text{ dB}, \quad (4.2)$$

kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

L - ztráty vlivem překážek; [dB]

P₁, P₂ – výkon vyslaný a přijatý; [W]



Obrázek 7: Měření útlumu překážek

3.4 Fresnelova zóna [8]

Je prostor kolem spojnice mezi vysílačem a přijímačem, který se nazývá první Fresnelova zóna. Má tvar rotačního elipsoidu (nejšířší uprostřed spoje ke krajům se zužuje), přenáší se v ní 90% energie. Narušením této zóny má za následek snížení kvality přenosu dat (ztráta paketů, nižší přenosová rychlost). Maximální zastínění 1. Fresnelovy zóny je udávané max. 40%. Šířku Fresnelovy zóny lze spočítat dle následujícího vztahu:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}, \quad (4.3)$$

kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

F_n - poloměr n-té Fresnelovy zóny v dané vzdálenosti; [m]

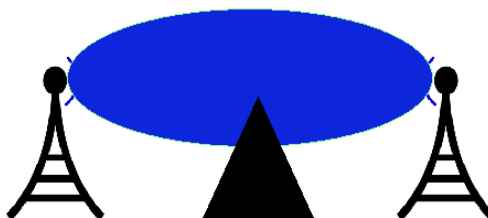
n - řád Fresnelovy zóny

d_1, d_2 - vzdálenost překážky od vysílače; [m]

λ - vlnová délka přenášeného signálu; [m]

Výpočet Fresnelovy zóny pro frekvenci 2,45 GHz (λ - 0,122 m)	
Vzdálenost mezi vysílači [m]	šířka 1. Fresnelovy zóny [m]
10	0,55
20	0,78
30	0,95
40	1,10
50	1,23

Tabulka 5: Šířka Fresnelovy zóny v závislosti vzdálenosti mezi vysílači



Obrázek 8: Narušení Fresnelovy zóny

3.5 Výpočet výkonu AP [9]

3.5.1 Nařízení ČTÚ

Ve všeobecném oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 uvádí, maximální ekvivalentní izotropický vyzářený výkon EIRP (součet výstupního výkonu vysílače a zisku antény).

Kmitočtové pásmo	Vyzářený výkon	Maximální spektrální hustota EIRP	Další podmínky
2400,0 - 2483,5 MHz	100 mW	10 mW/1 MHz	systémy s technikou DSSS nebo OFDM
		100 mW/100 kHz	systémy s technikou FHSS
5150 - 5250 MHz	200 mW střední	v10 mW/MHz (střední spektrální hustota v libovolném úseku širokém 1 MHz)	pouze pro použití uvnitř budovy
5470 - 5725 MHz	1 W střední	50 mW/MHz (střední spektrální hustota v libovolném úseku širokém 1 MHz)	-

Tabulka 6: Maximální hodnoty výkonu podle nařízení ČTÚ

Velikost izotropicky vyzářeného výkonu lze spočítat dle následujícího vztahu:

$$EIRP = P_t + G_t - L_t, \quad (4.4)$$

$$EIRP = 5 + 2,2 - 1$$

$$EIRP \leq 20 \text{ dBm}(100 \text{ mW})$$

kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

P_t – výstupní výkon Wi-Fi karty; [dBm]

G_t – zisk vysílací antény; [dBi]

L_t – ztráty anténního svodu a konektorů na vysílací straně; [dB]

3.5.2 Převod výkonu ve Wattech na dBm

Výhodou je, že decibely představují logaritmickou a ne lineární hodnotu. Při dvojnásobném zvýšení výkonu se zisk zvýší o 3dB.

Jednotka dBm je poměrnou jednotkou informuje o výkonovém poměru vztaženému k jednomu miliwattu.

Pro přepočet výkonu ve wattech na dBm se používá vztah:

$$P_{dBm} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_w}{0,001} \right), \quad (4.5)$$

$$10 \cdot \log \left(\frac{0,1}{0,001} \right) = 20 \text{ dBm}$$

kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

P_{dBm} - výkon vysílacího zařízení: [dBm]

P_w - výkon vysílacího zařízení: [W]

Výkon [dBm]	Výkon [W]
0	0,001
2	0,002
5	0,003
10	0,01
12	0,016
15	0,032
20	0,1

Tabulka 7: Přepočet výkonu ve Wattech na dBm

3.6 Modely pro plánování vnitřních prostor [10]

Tyto modely slouží pro predikci pokrytí jak vnitřních, tak venkovních prostor. Uspadňují práci s rozmisťováním přístupových bodů, nastavováním kanálů a výkonů.

3.6.1 One-Slope model

Tento model není náročný na zadání vstupních dat a je rychlý na výpočet. Používá empirický přístup, kdy se počítá s jednotným útlumem pro celou oblast predikce bez ohledu na členění interiéru. Tyto útlumy se udávají pro různá prostředí a frekvenční pásma.

Celkové ztráty jsou dány vztahem:

$$L(d) = L_1 + 10n \log(d), \quad (4.6)$$

$L(d)$ - predikovaná hodnota ztrát šířením; [dB]

d - vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem ($d > 1\text{m}$); [m]

L_1 - referenční hodnota ztrát pro vzdálenost 1m; [dB]

Pro frekvenci 2,5 GHz		
prostředí	L_1 [dB]	n [-]
kanceláře	40,2	4,2
chodby	40,2	1,2

Tabulka 8: Empirické parametry pro One-Slope modely

3.6.2 Multi-Wall model

Tento model potřebuje pro výpočet pokrytí přesné rozmístění jednotlivých příček na patrech s jejich útlumy a útlumy volného prostředí. Pro simulaci vícepatrových budov potřebuje útlumy podlah. Tento model má dobrý poměr náročnosti na vstupy a složitosti na výpočet, ale není schopen simulovat vlnovodný efekt v dlouhých zahnutých chodbách.

Celkové ztráty šíření jsou dány vztahem:

$$L(d) = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + \sum_i k_{wi} L_{wi} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} b \right)} L_f,$$

Kde následující proměnné jsou vyjádřeny:

$L(d)$ - celkový útlum; [dB]

d - vzdálenost; [m]

λ - vlnová délka; [m]

k_{wi} - počet příček typu i , které protínají spojnici mezi vysílačem a přijímačem

L_{wi} - činitel útlumu pro příčky typu i ; [dB]

k_f - počet podlaží, které protínají spojnici přijímač vysílač

L_f - činitel útlumu pro podlaží; [dB]

b - konstanta nelinearity útlumu průchodem skrz více podlaží

4 Měření a simulace

4.1 Měření útlumu stavebních materiálů a polarizace

Aby bylo možné přesně simulovat v simulačním programu I-prop, bylo zapotřebí změřit útlumy stavebních materiálů. Měření probíhalo v budově na Krásném poli v učebně KrP203. Byl změřen útlum cihlových příček šíře 150 mm, dále dřevěných dveří s voštinovou výplní, železobetonového stropu šíře 450 mm a nosníků šíře 300 mm. Dále bylo provedeno měření útlumu vlivem polarizace. K tomuto měření byly potřeba dvě Wi-Fi zařízení s vyměnitelnou externí anténou a dvě úzce směrové antény.

4.1.1 Použité přístroje [11] [12]

4.1.1.1 První sestava

První sestava se skládala z AP Cisco Aironet 1242 nastaveného na vysílací výkon -1 dBm, ke kterému byla připojena směrová anténa ISM14 (AS4-14) se ziskem 14dBi, mezi anténou a vysílačem byl pigtail s útlumem 2 dB, 2 konektory s útlumem 2 dB a půl metru koaxiálního kabelu RLA s celkovým útlumem 0,11 dB. Celkový vysílací výkon EIRP byl 9 dBm.

Výpočet vysílacího výkonu EIRP:

$$EIRP = P_t + G_t - L_t$$

$$EIRP = -1 + 14 - 4,1$$

$$EIRP = 9dBm$$

P_t – výstupní výkon Wi-Fi karty; [dBm]

G_t – zisk vysílací antény; [dBi]

L_t – ztráty anténního svodu a konektorů na vysílací straně; [dB]

Cisco Aironet 1242

Toto zařízení podporuje standardy IEEE 802.11abg. Přes webové rozhraní bylo nakonfigurováno jako přístupový bod, který vysílal na 6. kanále. Protože zařízení podporuje pro lepší příjem 2 antény, ale pro měření byla zapotřebí jen jedna směrová anténa, bylo zařízení nastaveno na příjem a vysílání pomocí jedné antény. K měření úrovně signálu bylo uskutečněno pomocí webového rozhraní.

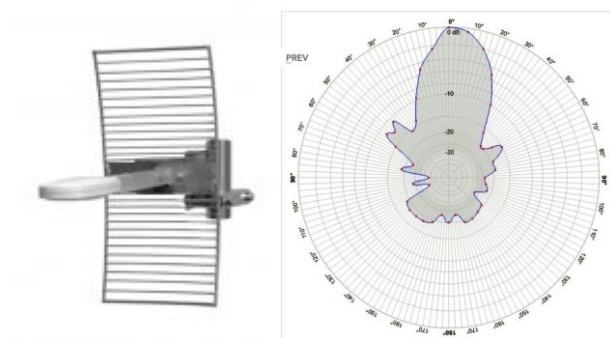


Uroveň signálu	Max přenosová rychlost
-96 dBm	1 Mbps
-93 dBm	2 Mbps
-91 dBm	5.5 Mbps
-91 dBm	6 Mbps
-85 dBm	9 Mbps
-88 dBm	11 Mbps
-83 dBm	12 Mbps
-81 dBm	18 Mbps
-78 dBm	24 Mbps
-74 dBm	36 Mbps
-73 dBm	48 Mbps
-73 dBm	54 Mbps

Obrázek 9: Aironet 1242 a jeho citlivost

Směrová anténa ISM14(AS4-14)

Aby se co nejvíce zabránilo vícecestnému šíření kolem překážek, byly použity úzce směrové antény. Tato anténa může vysílat jak vertikálně, tak horizontálně. Pro měření byla použita vertikální polarizace, protože se nejčastěji používá pro pokrytí budov.



Zisk	14 ± 1 dBi
Vyzařovací úhel	$22 \pm 1^\circ$
Frekvenční rozsah	2,4 - 2,5 Ghz

Obrázek 10: Směrová anténa ISM14 (AS4-14) s vyzařovací charakteristikou

4.1.1.2 Druhá sestava

Jako druhé zařízení byla použita Wi-Fi karta Cisco AIR LMC350 nastavená na vysílací výkon 0 dBm, ke které byla připojena směrová anténa Yagi XP se ziskem 16 dBi, mezi anténou a vysílačem byl 1pigtail s útlumem 2 dB, 3 konektory s útlumem 3 dB a 3 metry koaxiálního kabelu RSMA s celkovým útlumem 1,47 dB. Celkový vysílací výkon byl 9,5 dBm.

Výpočet výkonu EIRP:

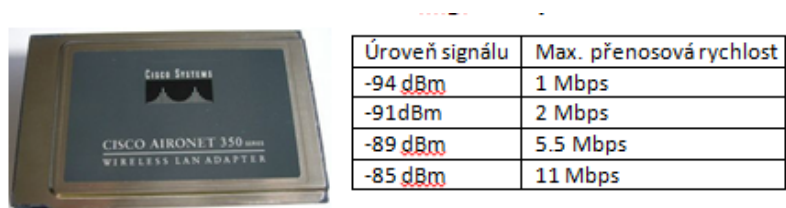
$$EIRP = P_t + G_t - L_t \text{ [dBm; dBm, dBi, dB]}$$

$$EIRP = 0 + 16 - 5,5$$

$$EIRP = 9,5 \text{ dBm}$$

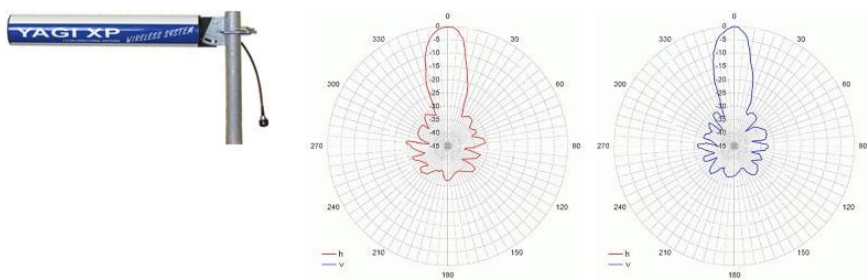
Cisco AIR LMC 350

Jedná se o kartu, která podporuje diverzitní příjem, karta byla nastavena pro příjem a vysílání pomocí jedné antény, jelikož byla použita pouze jedna směrová anténa.



Obrázek 11: AIR LMC 350 a jeho citlivost

Směrová anténa Yagi XP ISM14



Zisk	16 dBi
Vyzařovací úhel	20°
Frekvenční rozsah	2,4-2,5 Ghz

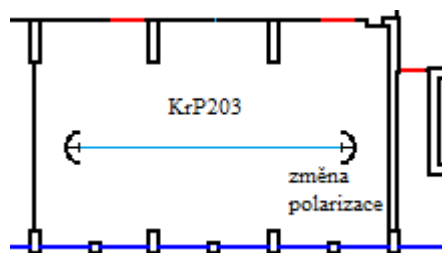
Obrázek 12: Směrová anténa Yagi XP s vyzařovací charakteristikou.

4.1.2 Vliv polarizace na sílu signálu

Polarizace udává rovinu, ve které se šíří rádiové vlny. Nejčastěji se používá polarizace lineární horizontální, lineární vertikální a kruhová. Abychom docílili nejlepšího spojení, musejí být antény na obou stranách polarizovány stejně. V opačném případě dochází k velkým ztrátám a potlačení zisku antén, až okolo 20 dB. Toho lze využít pro potlačení rušení od okolních sítí. Z horizontální polarizace vytvoříme vertikální tak, že otočíme antény na obou stranách o 90°.

4.1.2.1 Postup měření a naměřené úrovně

Měření probíhalo ve vnitřních prostorách školní budovy Krásné Pole na učebně 203. Wi-Fi zařízení se směrovými anténami byly na sebe přímo namířeny a od sebe byly vzdáleny 8 m. Jedno Wi-Fi zařízení s anténou zůstalo po celou dobu měření ve vertikální polarizaci a u druhé antény se polarizace měnila. Úrovně signálu byly měřeny na obou Wi-Fi zařízeních, na AP pomocí webového rozhraní a na kartě pomocí aplikace od firmy Cisco. Rozdíl vlivu stejné a obrácené polarizace o 90° byl na AP naměřen od 14 do 17 dBm a na kartě od 12 do 13 dBm.



Obrázek 13: Rozmístění antén pro měření útlumu vlivem polarizace

Úroveň signálu [dBm] AP		Úroveň signálu [dBm] Wi-Fi karta	
V polarizace	H polarizace	V polarizace	H polarizace
-53	-69	-52	-64
-54	-68	-52	-65
-52	-69	-52	-65

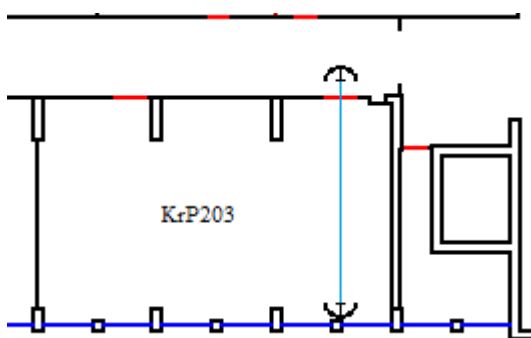
Tabulka 9: Vliv polarizace na úroveň signálu

4.1.3 Měření útlumu vlivem překážek

Měření probíhalo ve vnitřních prostorách školní budovy Krásné Pole, k měření byly použity již zmíněné zařízení AP Cisco Aironet 1242 se směrovou anténou ISM14 s EIPR = 9 dBm a Wi-Fi karta Cisco AIR LMC 350 se směrovou anténou Yagi XP s EIPR = 9.5 dBm. Obě antény by polarizovány vertikálně. Úroveň signálu byla měřena jak na Aironet 1242 pomocí webového rozhraní, tak na kartě AIR LMC 350 pomocí Cisco Aironet Desktop Utility, která byla dodána ke kartě.

4.1.3.1 Dřevěné dveře s voštinovou výplní:

U měření útlumu dveří byla jedna anténa umístěna naproti dveřnímu otvoru ve vzdálenosti 7 m a na chodbě 10 cm od vstupních dveří byla umístěna druhá anténa. Nejdříve byla změřena úroveň signálu při otevřených dveřích a po té při zavřených dveřích. Pro minimalizaci chyb se toto měření se provedlo 5 krát.



Obrázek 14: Rozmístění antén pro měření útlumu dveří

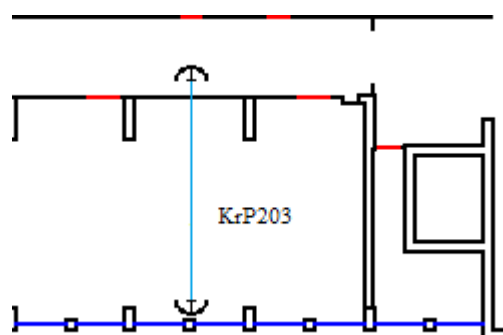
Naměřený útlum se na AP pohyboval od 1 do 3dB a na Wi-Fi kartě byl naměřen útlum od 1 do 2 dB. Proto byl útlum při simulaci v programu i-prop zvolen 2 dB.

Úroveň signálu [dBm] AP		Úroveň signálu [dBm] Wi-Fi karta	
Bez dveří	Přes dveře	Bez dveří	Přes dveře
-58	-59	-56	-57
-58	-59	-57	-58
-53	-56	-55	-56
-52	-54	-55	-57
-53	-55	-51	-53

Tabulka 10: Vliv dveří na úroveň signálu

4.1.3.2 Cihlová zeď 150mm:

Nejdříve byla změřena úroveň signálu ve dveřním otvoru, kdy jedna anténa byla umístěna naproti otvoru pro dveře ve vzdálenosti 7 m a na chodbě 10 cm od vstupních dveří byla umístěna druhá anténa, po té byly antény přeneseny o stejnou vzdálenost do místa, kde překážku tvořila cihlová zeď. Takto proběhly čtyři měření bez překážky a s překážkou. Naměřený útlum se pohyboval od 5 do 7 dB. Jelikož je kolem zdi rozmístěn nábytek a různé přístroje, tak byl útlum v simulaci pro cihlovou zeď zvolen nejvýše naměřený a to 7 dB.



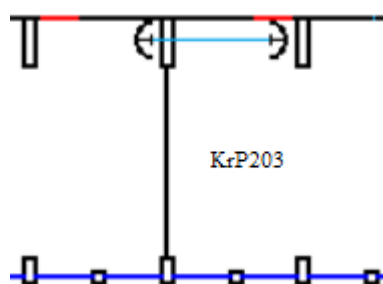
Obrázek 15: Rozmístění antén pro měření útlumu cihlové zdi 150 mm

Úroveň signálu [dBm] AP		Úroveň signálu [dBm] Wi-Fi karta	
Bez zdi	Přes zeď	Bez zdi	Přes zeď
-52	-57	-51	-56
-52	-60	-52	-55
-51	-58	-52	-56
-52	-57	-51	-57

Tabulka 11: Vliv cihlové zdi 150 mm na úroveň signálu

4.1.3.3 Železobetonový nosník 300 mm:

Nejdříve byla změřena úroveň signálu volného prostoru 3 m, potom byla změřena úroveň signálu, kdy jedna z antén byla od nosníku vzdálena 20 cm a druhá anténa naproti ní ve vzdálenosti od nosníku 250 cm před dalším nosníkem. Změřený útlum se pohyboval od 11 do 12 dB. Protože byly nosníky v podkladech pro simulaci nakresleny dvojité, proto byl tento útlum pro simulaci dvojnásobný oproti cihlové zdi šíře 150 mm a to 14 dB.



Obrázek 16: Rozmístění antén pro měření útlumu železobetonového nosníku 300 mm

Úroveň signálu [dBm] AP		Úroveň signálu [dBm] Wi-Fi karta	
Bez nosníku	Přes nosník	Bez nosníku	Přes nosník
-48	-60	-48	-59
-48	-59	-49	-60
-49	-60	-48	-60

Tabulka 12: Vliv železobetonového nosníku 300 mm na úroveň signálu

4.1.3.4 Železobetonový strop 450 mm:

U měření železobetonového stropu jsem nejdříve změřil sílu signálu na vzdálenost 3 m volného prostoru. Po té jsem jednu anténu umístil v prvním patře kolmo dolů 20 cm od podlahy. Druhá anténa byla umístěna od stropu 240 cm. Naměřený útlum u stropu byl od 18 do 20 dB. Pro simulaci byl tento útlum zvolen 20 dB.

Úroveň signálu [dBm] AP		Úroveň signálu [dBm] Wi-Fi karta	
Bez stropu	Přes strop	Bez stropu	Přes strop
-47	-65	-47	-65
-48	-68	-48	-66
-48	-67	-48	-68

Tabulka 13: Vliv železo betonového stropu 450 mm na úroveň signálu

4.2 Simulace aktuálního stavu v I-prop

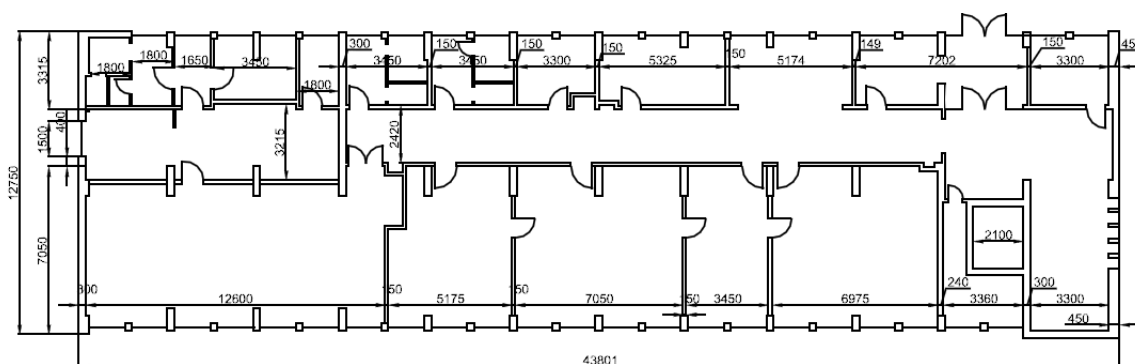
Pro simulaci byl vybrán simulační program I-prop, jelikož podporuje Multi-Wall model i mezipatrové šíření signálu. Jeho výhodou je také import skladby budovy ve formátu .dxf a škola má na tento program nakoupeny licence.

4.2.1 Co je program I-prop [16]

Je to simulační program pro simulaci pokrytí budov bezdrátovými systémy (DECT, WLAN, ...). Jeho součástí jsou modely šíření signálu uvnitř vícepodlažních objektů, které umožňují pokrytí a návrh 3D piko buňkových sítí. Pro návrh podkladů pro simulaci pokrytí budov umožňuje snadnou editaci příček, stěn a prostupů. Také import .dxf souborů nebo vložení bitmapového plánu podlaží na pozadí. I-prop rozlišuje 4 druhy stavebních materiálů (příček) a jejich útlumy. Také lze nastavit útlum pro podlahu a volný prostor. Po vložení AP lze nastavit výšku umístění, vysílací kanál a druh antény. Lze volit mezi dvěma predikcemi šíření signálu One-Slope modelem, který nevyžaduje zadání stěn, nebo COST Multi-Wall modelem, který počítá s rozmístěním stěn. Jako výstup modelování je analýza pokrytí, úrovně signálu, nejsilnější stanice a frekvenční kanály. Program také dokáže simulovat úrovně signálu podél lomené cesty.

4.2.2 Podklady pro simulaci

Podklady pro simulaci vznikly překreslením a okótováním stavebních plánů všech tří pater budovy v AutoCADu. Budova měla rozměry 44 m x 13 m s výškou místností 3m.



Obrázek 17: Překreslené stavební plány přízemního patra budovy

Budova se skládá z více stavebních materiálů a to železobetonových nosníků o šířce 300 mm, železobetonových podlah o šířce 450 mm, cihlových příček o šířce 150 mm, dvojitéch dřevěných oken bez pokovení a dřevěných dveří s voštinovou výplní. Proto bylo nutné překreslit plány budovy do podoby, která by byla vhodná pro simulaci. Jelikož I-prop nerozlišuje šířku a materiál překážek, ale jen jejich útlum, bylo nutné překreslit příčky, které byly nakresleny dvojité pomocí jen jedné čáry. U širokých nosníků a nosných zdí byl zdvojený náčrtek zachován, aby se v simulaci nezanedbala jejich šířka.

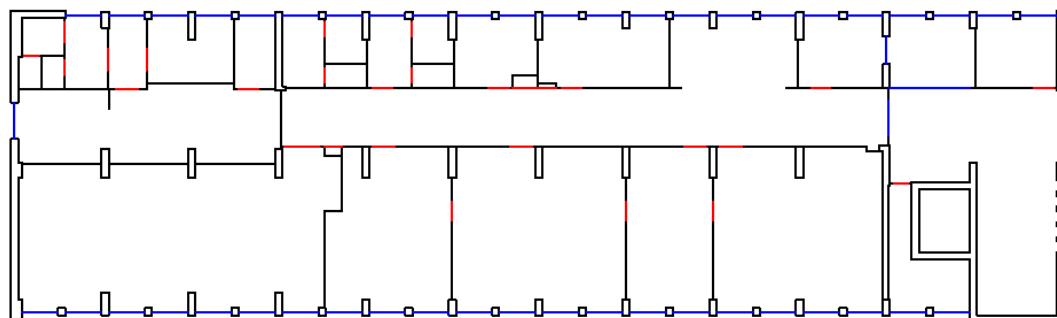
Aby bylo možné každému materiálu přiřadit vlastní útlum, bylo nutné dát každý materiál do vlastní vrstvy, které jsou na obrázku znázorněny různými barvami:

modrá - dřevěná okna

červená - dřevěné dveře s voštinovou výplní

černá - cihlové příčky, nosníky a nosné zdi

Překreslené a upravené nákresy jsem uložil ve formátu .dxf.



Obrázek 18: Překreslený náčrtek přízemí pro simulaci

4.2.3 Nastavení simulace v I-prop

V simulačním programu byly postupně importovány nákresy pater, každé vrstvě bylo přiřazeno její označení a útlum. Patra byla postupně umístěna nad sebe a výška pater se nastavila podle plánů na 3 m. V místě šachet pro schodiště byl vyříznut otvor v podlaze, jelikož zde není souvislý železobetonový strop. Pro simulaci bylo zvoleno Multi-Wall modelování. Následně byly nastaveny útlumy, které pocházely z měření útlumu materiálu pomocí směrových antén.

Stavební materiál	Útlum [dB]
Železobetonový strop 450 mm	20
Železobetonový nosník 300mm	14
Cihlová zeď 150mm	7
Okna a dveře	2

Tabulka 14: Přehled naměřených útlumů stavebních materiálů

Pro cihlové zdi 150 mm byl útlum 7 dB, tudíž pro železobetonové nosníky, které jsou nakresleny dvojité, byl útlum 14 dB. Pro okna a dveře byl útlum zvolen 2 dB a mezipatrový útlum byl zvolen 20 dB. Ostatní parametry zůstaly nastaveny defaultně.

The screenshot displays the 'Loss of walls' configuration window in the I-prop software. It features a table with four rows: a header row and three data rows. The first data row is highlighted in yellow. To the right of the table are three input fields: 'Loss at 1 m [dB]' with a value of 38, 'Propagation index' with a value of 2, and 'Offset [dB]' with a value of 0. Below the table are two more input fields: 'Adjacent floors loss [dB]' with a value of 20 and 'Multi-floor param. "b"' with a value of 0.46.

Type	Att. [dB]	Description
0.	7	cihlove prcky 150 mm
1.	0	
2.	2	okna
3.	2	dvere

Loss at 1 m [dB]: 38

Propagation index: 2

Offset [dB]: 0

Adjacent floors loss [dB]: 20

Multi-floor param. "b": 0.46

Obrázek 19: Nastavení parametrů pro simulaci

4.2.4 Rozmístění přístupových bodů a simulace

Přístupové body byly umístěny na místa podle původního stavu a také tak byly nastaveny jejich parametry. Jelikož se vysílací kanály na přístupových bodech měnily automaticky podle rušení od okolí, byly použity kanály, které se na přístupových bodech nacházely dne 1. 2. 2011.

V přízemí byl umístěn jeden přístupový bod (AP1) dle obrázku 21 ve výšce 2,8 m, byl nastaven na vysílací výkon EIRP = 20 dBm, na kanále 1 s frekvencí 2,412 GHz a se všesměrovou anténou.

V 1. patře byl umístěn jeden přístupový bod (AP2) dle obrázku 21 ve výšce 2,8 m, byl nastaven na vysílací výkon EIRP = 20 dBm, na kanále 11 s frekvencí 2,462 GHz a se všesměrovou anténou.

Ve 2. patře byl umístěn jeden přístupový bod (AP3) dle obrázku 21 ve výšce 2,8 m, byl nastaven na vysílací výkon EIRP = 20 dBm, na kanále 1 s frekvencí 2,412 GHz a se všesměrovou anténou.

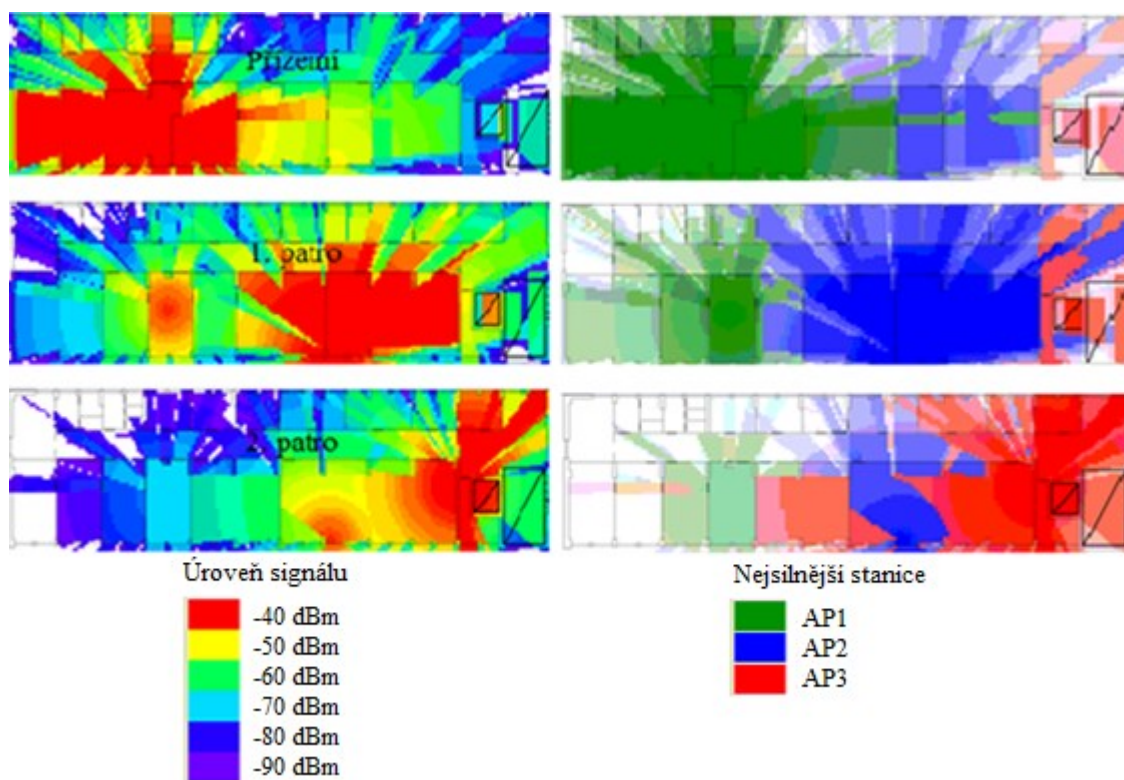


Obrázek 20: Přehled rozmístění přístupových bodů (AP)

Ve výsledcích simulace je zřetelné malé pokrytí pravé části přízemí, kde se nachází chodba, schodiště a výtah. Úroveň signálu se zde pohybuje pod -80 dBm, což je už nahraně pro příjem signálu s méně kvalitními kartami. Tuto méně pokrytou část dokrývají AP2 z prvního patra, částečně se na dokrývání podílí i AP3 z třetího patra, což je vidět na obrázku 22 vpravo.

Ve druhém patře je malá úroveň signálu v levé části budovy, kde se nachází kanceláře i učebny. Toto patro je pokryto hlavně signálem od AP2, ale také se na dokrývání podílí v levé části AP1, které je umístěno v přízemí a AP3, které je umístěno ve třetím patře a to dokrývá schodiště.

Třetí patro je pokryto nejméně, protože AP3 je umístěno v železobetonové kleci. Nejvíce signál prochází dveřmi na chodbu. Levá část patra není vůbec pokryta a o dokrytí se stará i AP1, které je umístěno v přízemí.



Obrázek 21: Úroveň signálu a nejsilnější stanice na 3 patrech

4.3 Měření aktuálního stavu.

4.3.1 Použité přístroje

4.3.1.1 Popis AP AIRONET 1121G [2]

Po budově jsou rozmístěny 3 přístupové body AIRONET 1121G s podporou standardu IEEE802.11bg s integrovanou dipólovou anténou 2.2 dBi a vertikální polarizací. Přístupové body jsou nastaveny na max. EIPR = 20 dBm.



Frekvenční rozsah	2,4-2,5 GHz
Anténa	integrovaná
Zisk	2.2 dBi
Polarizace	lineární

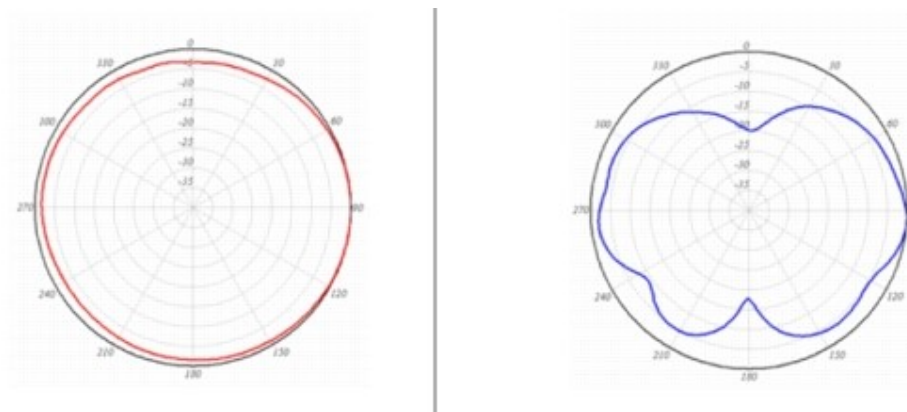
Přijímací citlivost 802.11b:

Úroveň signálu	Max. přenosová rychlost
-94 dBm	1 Mbps
-91 dBm	2 Mbps
-89 dBm	5.5 Mbps
-85 dBm	11 Mbps

Přijímací citlivost 802.11g:

Úroveň signálu	Max. přenosová rychlost
-95 dBm	1 Mbps
-91 dBm	2 Mbps
-89 dBm	5.5 Mbps
-90 dBm	6 Mbps
-84 dBm	9 Mbps
-88 dBm	11 Mbps
-82 dBm	12 Mbps
-80 dBm	18 Mbps
-77 dBm	24 Mbps
-73 dBm	36 Mbps
-72 dBm	48 Mbps
-72 dBm	54 Mbps

Tabulka 15: Citlivost AP AIRONET 1121G



Obrázek 22: Horizontální vyzařovací diagram a vertikální vyzařovací diagram

4.3.1.2 Popis Wi-Fi karty AIR-CB21A6 E K9 [3]

Měření probíhalo pomocí Wi-Fi karty AIR-CB21A6 E K9 s integrovanou dipólovou anténou 2.2 dBi. Tento typ karty podporuje standardy IEEE802.11abg. Karta byla vložena do notebooku a nastavena na vysílací výkon EIRP = 20 dBm. Dále bylo navázáno spojení s AP a po budově měřena úroveň signálu, vysílací kanály a maximální dosažitelné rychlosti.



Přijímací citlivost 802.11g:

Úroveň signálu	Max. přenosová rychlost
-94 dBm	1 Mbps
-93 dBm	2 Mbps
-92 dBm	5.5 Mbps
-86 dBm	6 Mbps
-86 dBm	9 Mbps
-90 dBm	11 Mbps
-86 dBm	12 Mbps
-86 dBm	18 Mbps
-84 dBm	24 Mbps
-80 dBm	36 Mbps
-75 dBm	48 Mbps
-71 dBm	54 Mbps

Tabulka 16: Citlivost AIR-CB21A6 E K9

4.3.2 Postup měření

4.3.2.1 Měření pomocí Cisco Aironet Desktop Utility

Přístupové body byly nastaveny a rozmístěny tak, jak je již uvedeno výše. Měření probíhalo pomocí Wi-Fi karty AIR-CB21A6 E K9 a softwaru, který byl dodán k zařízení (Cisco Aironet Desktop Utility). Byla změřena síla signálu, síla rušení, vysílací kanál, dostupná rychlost přenosu a MAC adresa přístupového bodu. Měřicí zařízení vždy zůstalo na místě po dobu jedné minuty, aby si mohlo vyhledat nejsilnější stanici. Tak byla proměřena celá budova, kdy v malých kancelářích bylo provedeno 4 - 5 měření. Ve velkých místnostech proběhlo měření více, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány a následně zpracovány.

4.3.2.2 Měření pomocí VisiWave Site Survey

Je program pro zaznamenání a vyhodnocení pokrytí budov i venkovních prostor. Program si zaznamenával data z Wi-Fi karty (o dostupných přístupových bodech) i z připojeného analyzátoru Wi-Spy DBx Pro, který zaznamenával využití dostupného spektra. Pro přesný záznam a vyhodnocení se do programu vložil náčrt budovy. Proběhlo měření celé budovy. Program následně dopočítal pokrytí celé budovy (rozmístění úrovně signálu) a ukázal přibližné umístění přístupových bodů.

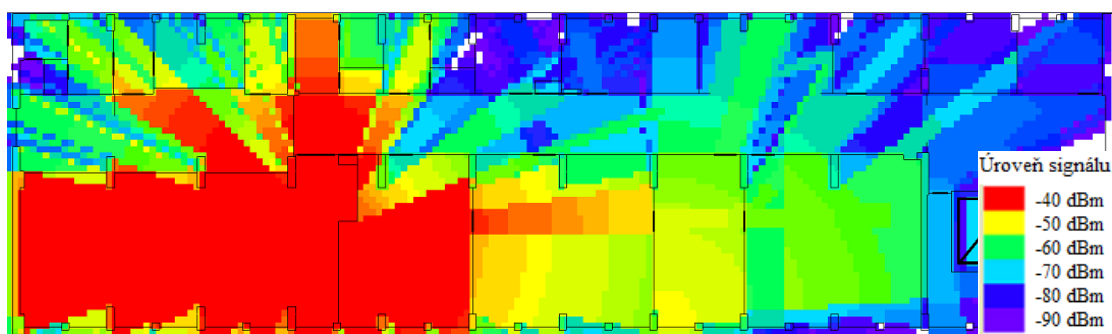
V programu k zjištění úrovně signálu všech dostupných sítí a také celého spektra stačí rozkliknout bod ve kterém bylo měření provedeno.

4.3.3 Porovnání naměřených a simulovaných dat

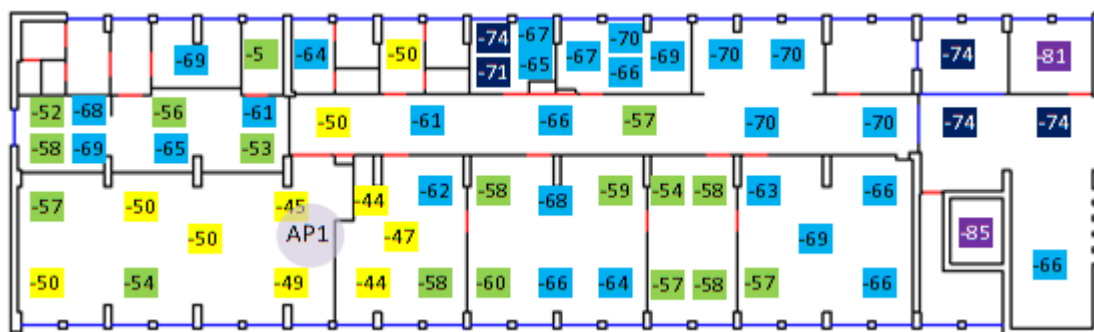
Z porovnání naměřených a simulovaných úrovní signálu je patrné, že simulace je velice přesná a dá se podle ní navrhovat bezdrátová síť. Dále byla tímto porovnáním ověřena správnost měření útlumu stavebních materiálů. Nejvíce se liší naměřená a simulovaná úroveň signálu v okolí přístupového bodu, kde v simulaci dochází k odrazu od absolutně hladkých stěn a k následným interferencím. Simulace byla také velice přesná v predikci nejsilnějšího přístupového bodu, kde se naměřené hodnoty lišily jen nepatrně. Tato chyba mohla být způsobena rozhodovací úrovní Wi-Fi karty při rozhodování, ke kterému přístupovému bodu se má připojit.

4.3.3.1 Přízemí

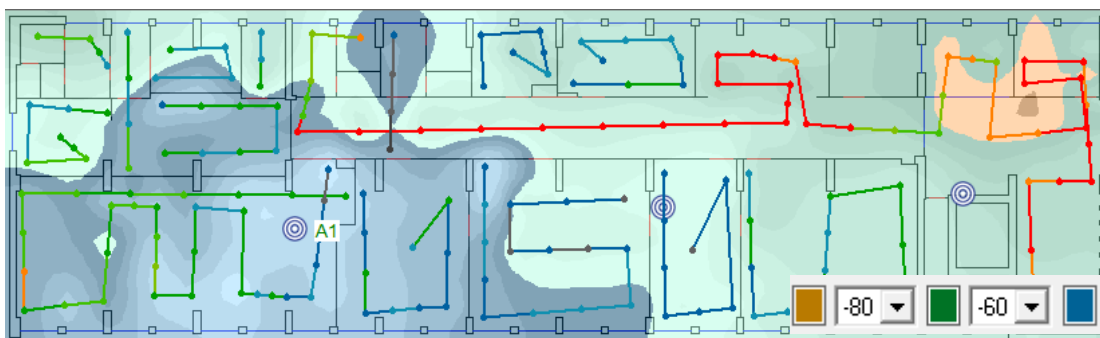
Pomocí měření, kdy se simulovaná data shodují s daty změřenými pomocí Wi-Fi karty. Pravá strana budovy, kde se nachází chodba a schodiště, je velice slabě pokryta, ale kanceláře a učebny jsou pokryty dostatečně.



Obrázek 23: Úrovně signálu podle simulace

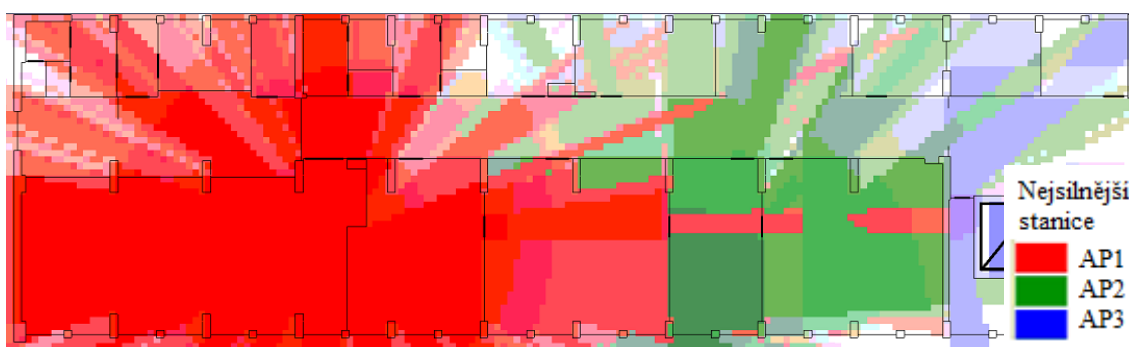


Obrázek 24: Úrovně signálu měřeného pomocí Cisco Aironet Desktop Utility

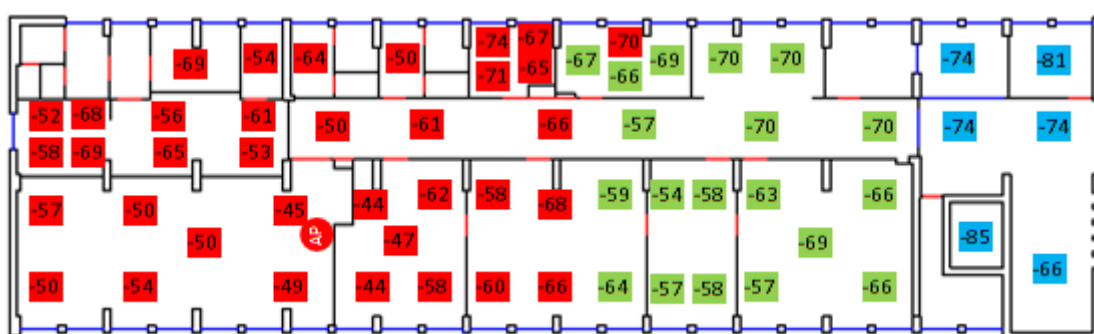


Obrázek 25: Úrovně signálu měřeného pomocí VisiWave Site Survey

Simulovaná a naměřená data se překrývají, z toho vyplývá, že simulace je velice přesná. Ze simulace i z měření jde pozorovat, že na pokrytí přízemí se podílí všechny 3 přístupové body. Největší celou levou část budovy pokrývá AP1, který je umístěn v přízemí. Další část budovy dokrývá AP2, který je umístěn v 1. podlaží. Pravá část podlaží, kde se nachází chodba, pokrývá AP3, tento přístupový bod je umístěn ve třetím patře.



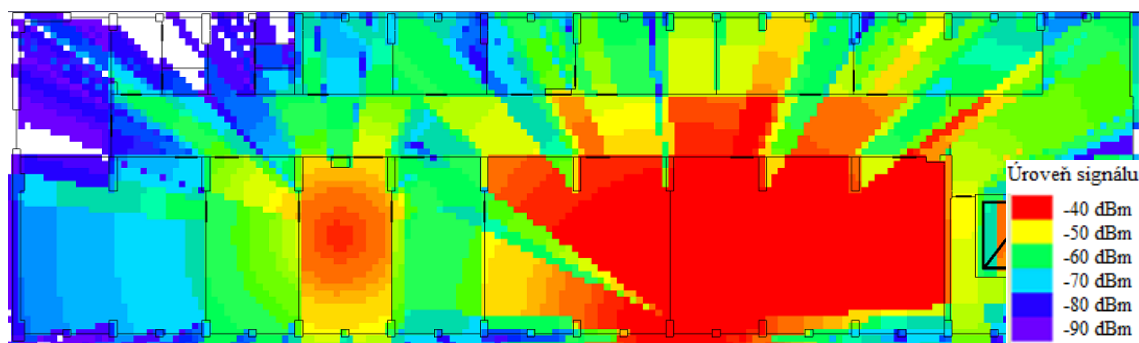
Obrázek 26: Simulace nejsilnější úrovně podle přístupových bodů



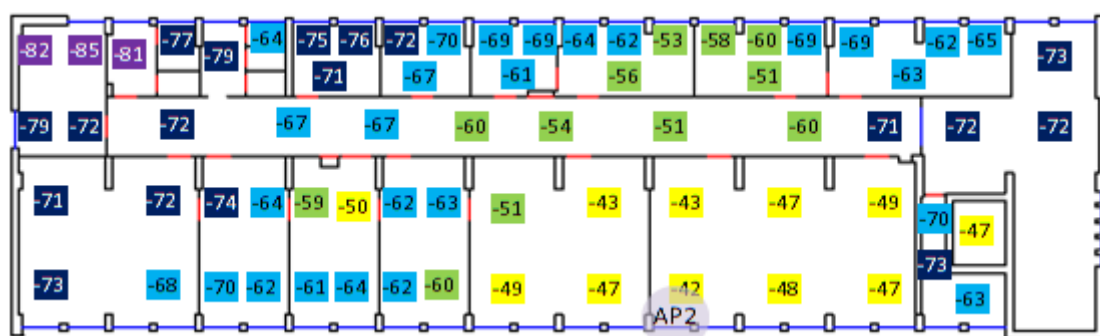
Obrázek 27: Naměřené nejsilnější úrovně podle přístupových bodů

4.3.3.2 1. patro

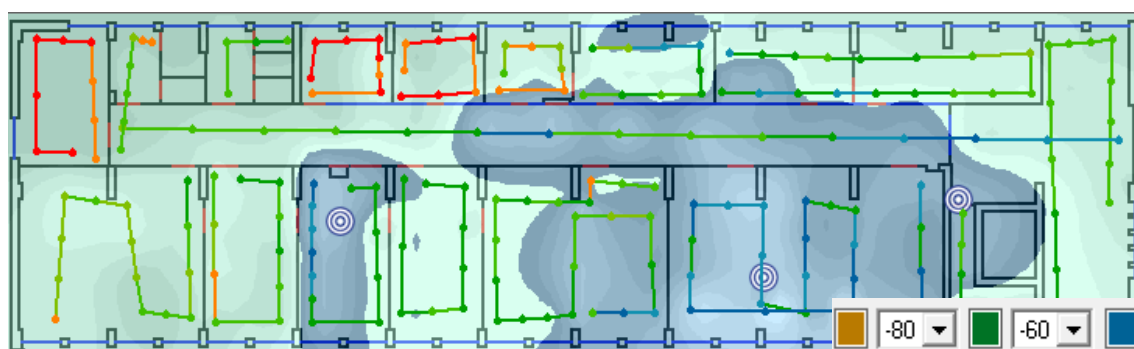
V 1. patře je slabě pokryta levá část budovy, i když se o dokrytí snaží AP1 umístěné v přízemí. V této části budovy jsou již problémy s připojením pomocí slabších Wi-Fi zařízení.



Obrázek 28: Úrovně signálu podle simulace

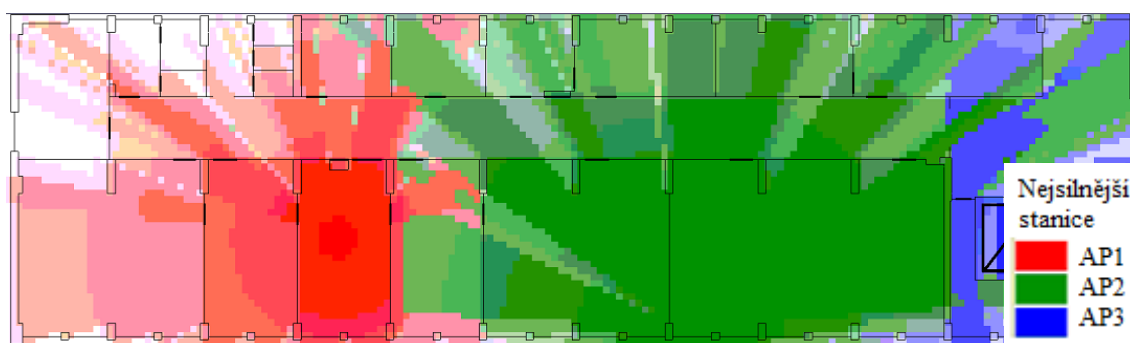


Obrázek 29: Úrovně signálu měřeného pomocí Cisco Aironet Desktop Utility

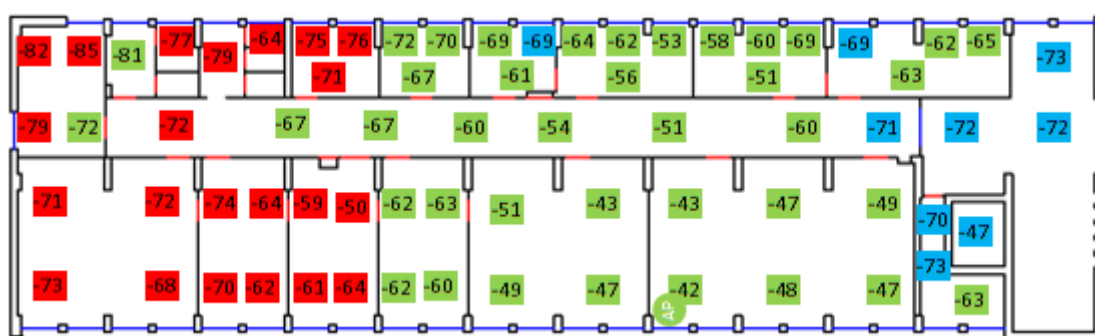


Obrázek 30: Úrovně signálu měřeného pomocí VisiWave Site Survey

V tomto patře se o pokrytí nejvíce stará AP2, levou část pokrývá AP1 z přízemí a o pokrytí pravé části, kde se nachází schodiště se stará AP3. Naměřená a simulovaná data se shodují.



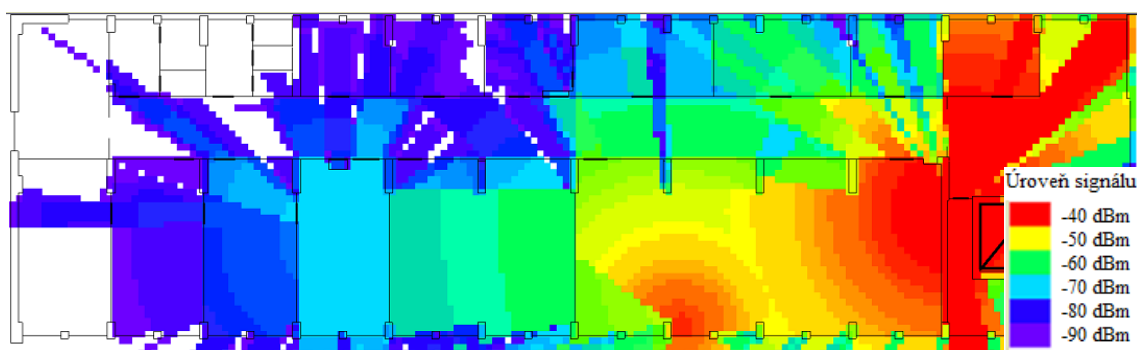
Obrázek 31: Simulace nejsilnější úrovně podle přístupových bodů



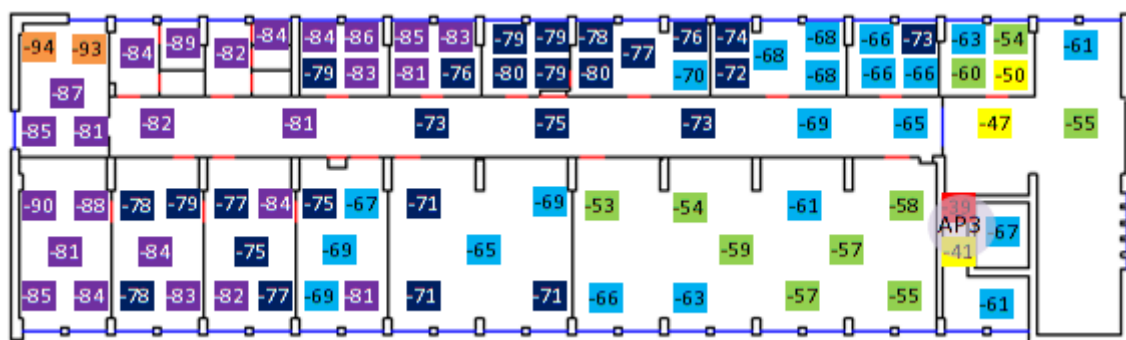
Obrázek 32: Naměřené nejsilnější úrovně podle přístupových bodů

4.3.3.3 2. patro

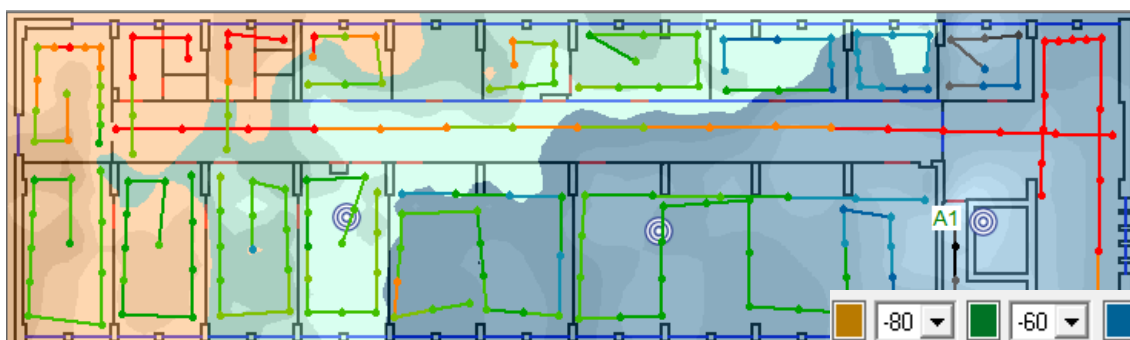
2. patro je pokryto nejhůře, hlavně jeho levá část, což lze vidět i z naměřených dat, zde jsou dobře pokryty jen 3 kanceláře, jedna učebna a chodba. Zbýlá část patra je pokryta velice špatně.



Obrázek 33: Úrovně signálu podle simulace

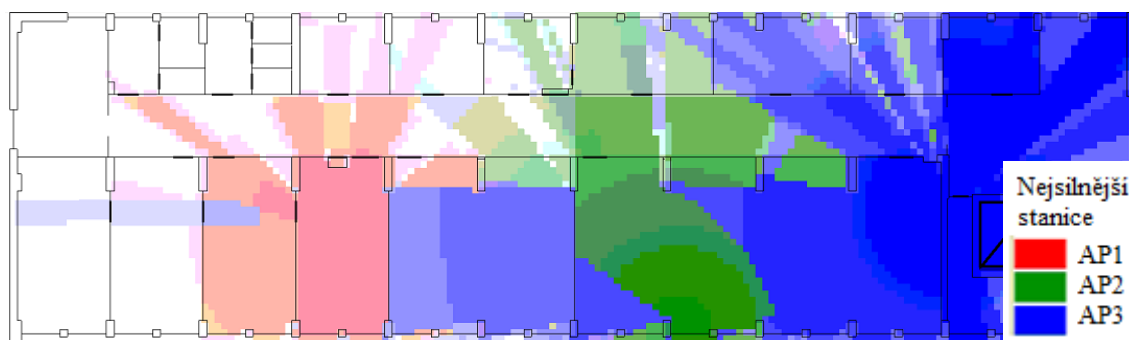


Obrázek 34: Úrovně signálu měřeného pomocí Cisco Aironet Desktop Utility

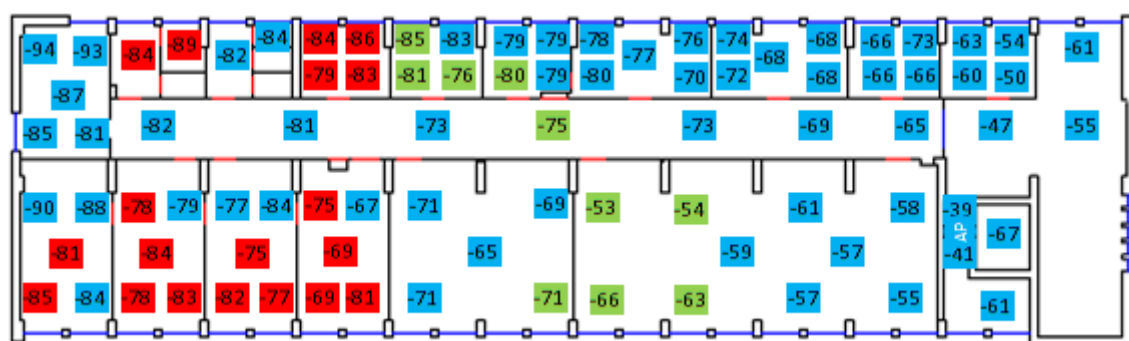


Obrázek 35: Úrovně signálu měřeného pomocí VisiWave Site Survey

O pokrytí patra se nejvíce stará AP3, které je umístěno v pravé části budovy. O pokrytí tohoto patra se snaží AP2 z 2. patra, to ale nemá na pokrytí zásadní vliv. Také zde prozařuje AP1 z 1. patra, to již není tak silné, aby dostatečně pokrylo levou část budovy



Obrázek 36: Simulace nejsilnější úrovně podle přístupových bodů



Obrázek 37: Naměřené nejsilnější úrovně podle přístupových bodů

4.3.4 Měření dostupných přenosových rychlostí pomocí Iperf [14]

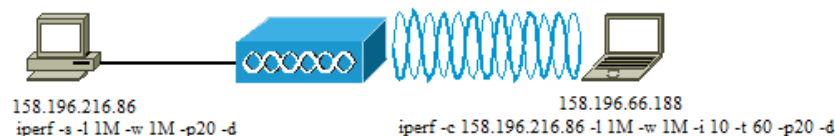
Iperf je nástroj pro měření šířky pásma a kvality síťového připojení, spouští se pomocí příkazového řádku, měření probíhá pomocí dvou počítačů, kdy jeden je nastaven jako server a druhý jako klient. Můžeme testovat přes UDP i TCP protokol. Kdy UDP pakety jsou posílány bez jakékoliv kontroly a TCP pakety jsou kontrolovány, jestli se dostaly k příjemci.

První měření, probíhalo přes TCP protokol na serveru byla nastavena velikost TCP okna na 1 MB, server naslouchal na 20. portu a přenos probíhal obousměrně.

```
[iperf-s -l 1M -w 1M -p20 -d]
```

Následně se na něj připojil klient, který měl nastavenou velikost TCP okna také na 1 MB, 20. port a obousměrný přenos. Měření probíhalo po dobu 60 s a s průběžnými výpisy rychlostí po 10 sekundách.

```
[iperf-c 158.196.216.86 -l 1M -w 1M -i 10 -t 60 -p 20 -d]
```



Obrázek 38: Zapojení a nastavení zařízení

```
=====
Server listening on TCP port 20
TCP window size: 2.00 MByte
=====
Client connecting to 158.196.216.86, TCP port 20
TCP window size: 2.00 MByte
=====
[1860] local 158.196.66.188 port 1205 connected with 158.196.216.86 port 20
[1836] local 158.196.66.188 port 20 connected with 158.196.216.86 port 3401
[ 10] Interval      Transfer      Bandwidth
[1836] 0.0-10.0 sec  8.00 MBytes  6.71 Mbits/sec
[1860] 0.0-10.0 sec  12.0 MBytes  10.1 Mbits/sec
[1860] 10.0-20.0 sec  8.00 MBytes  6.71 Mbits/sec
[1836] 10.0-20.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1860] 20.0-30.0 sec  8.00 MBytes  6.71 Mbits/sec
[1836] 20.0-30.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1860] 30.0-40.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1836] 30.0-40.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1860] 40.0-50.0 sec  8.00 MBytes  6.71 Mbits/sec
[1836] 40.0-50.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1860] 50.0-60.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1836] 50.0-60.0 sec  10.0 MBytes  8.39 Mbits/sec
[1860] 60.0-65.7 sec  60.0 MBytes  7.66 Mbits/sec
```

Obrázek 39: Příklad měření rychlosti na klientovi

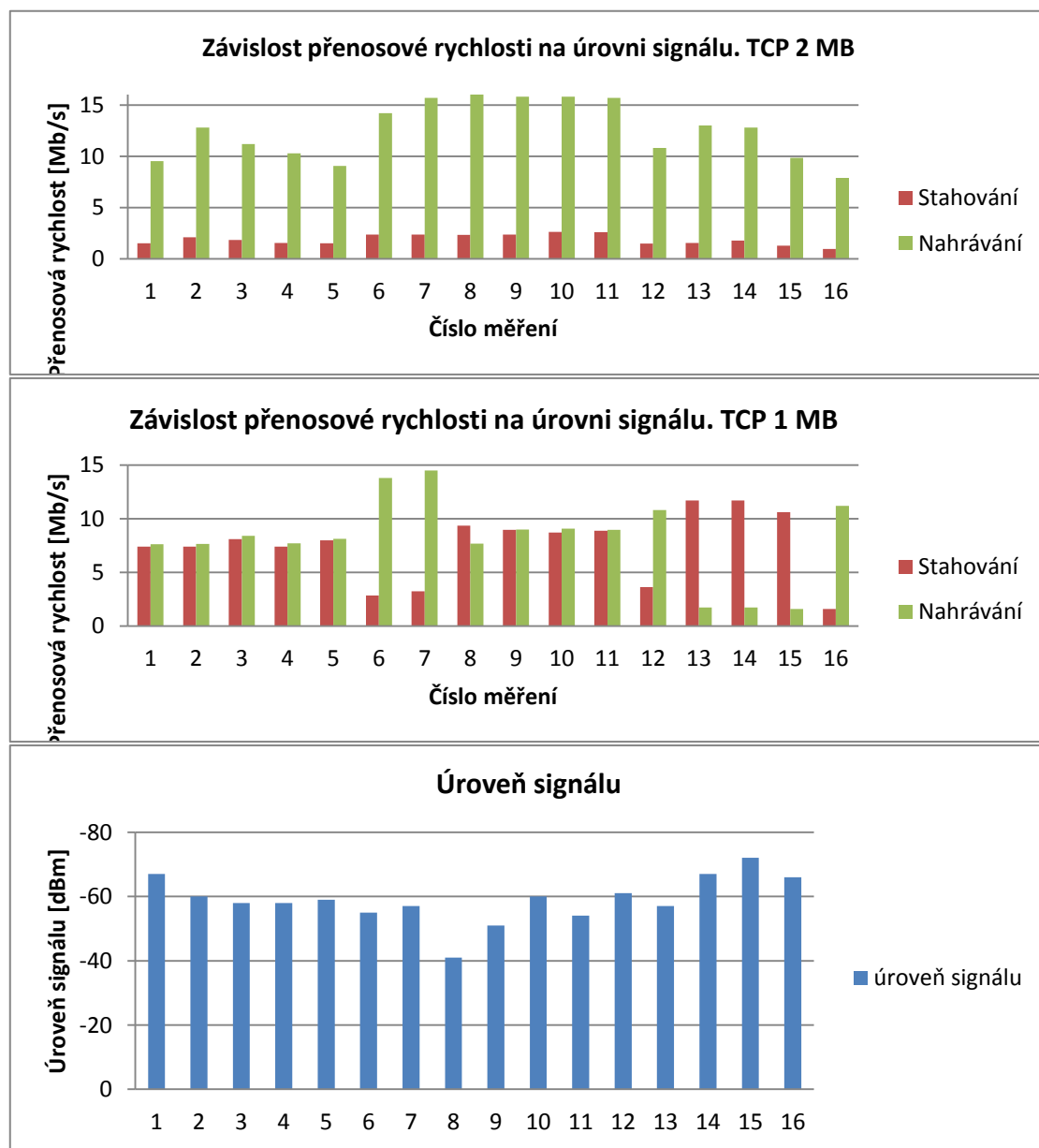
Takto byla změřena celá budova, kdy v kancelářích proběhly vždy 2 měření a ve větších místnostech více než 4 měření. Po ukončení tohoto měření byly tyto parametry přenastaveny na servru i na klientovi na velikost TCP okna na 2 MB a měření se opakovalo.

```
[iperf-s -l 1M -w 1M -p20 -d]
```

```
[iperf-c 158.196.216.86 -l 1M -w 1M -i 10 -t 60 -p 20 -d]
```

4.3.4.1 Přenosová rychlost přízemí

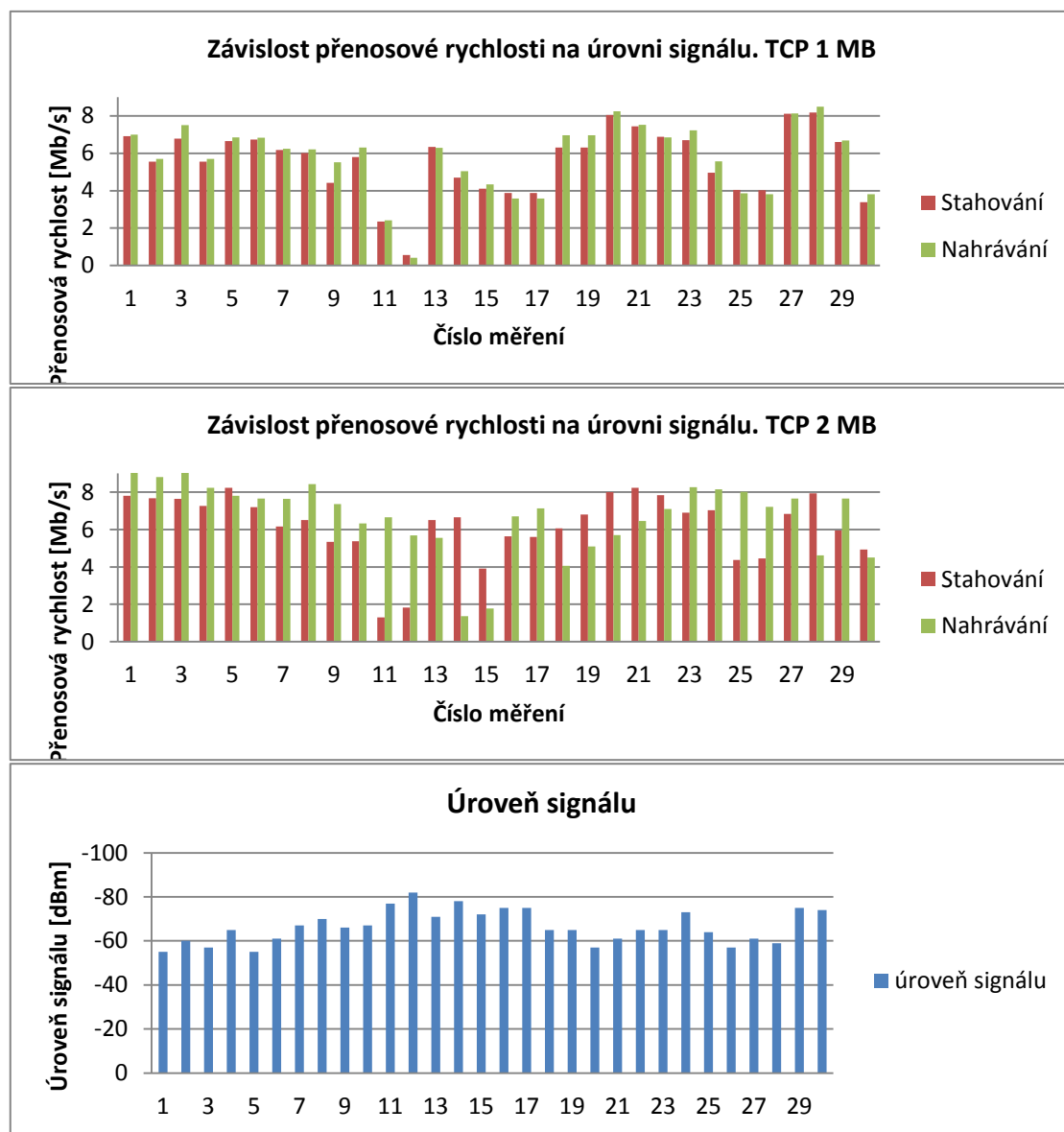
Z grafů přenosových rychlostí vyplývá, že přenosová rychlost je závislá na úrovni signálu a také na interferenci. V prostorách přízemí, kde se nacházejí učebny a kanceláře je rychlost dostatečná, protože se úroveň signálu pohybuje nad -70 dBm a použité zařízení mají maximální přenosovou rychlost do úrovně signálu -71 dBm Wi-Fi karta a -72 dBm AP. Při zvětšení TCP okna z 1 MB na 2 MB došlo k celkovému zvýšení přenosové rychlosti, ale nahrávání se zvýšilo na úkor stahování.



Obrázek 40: Dosažitelná přenosová rychlost v přízemí

4.3.4.2 Přenosová rychlost 1. patra

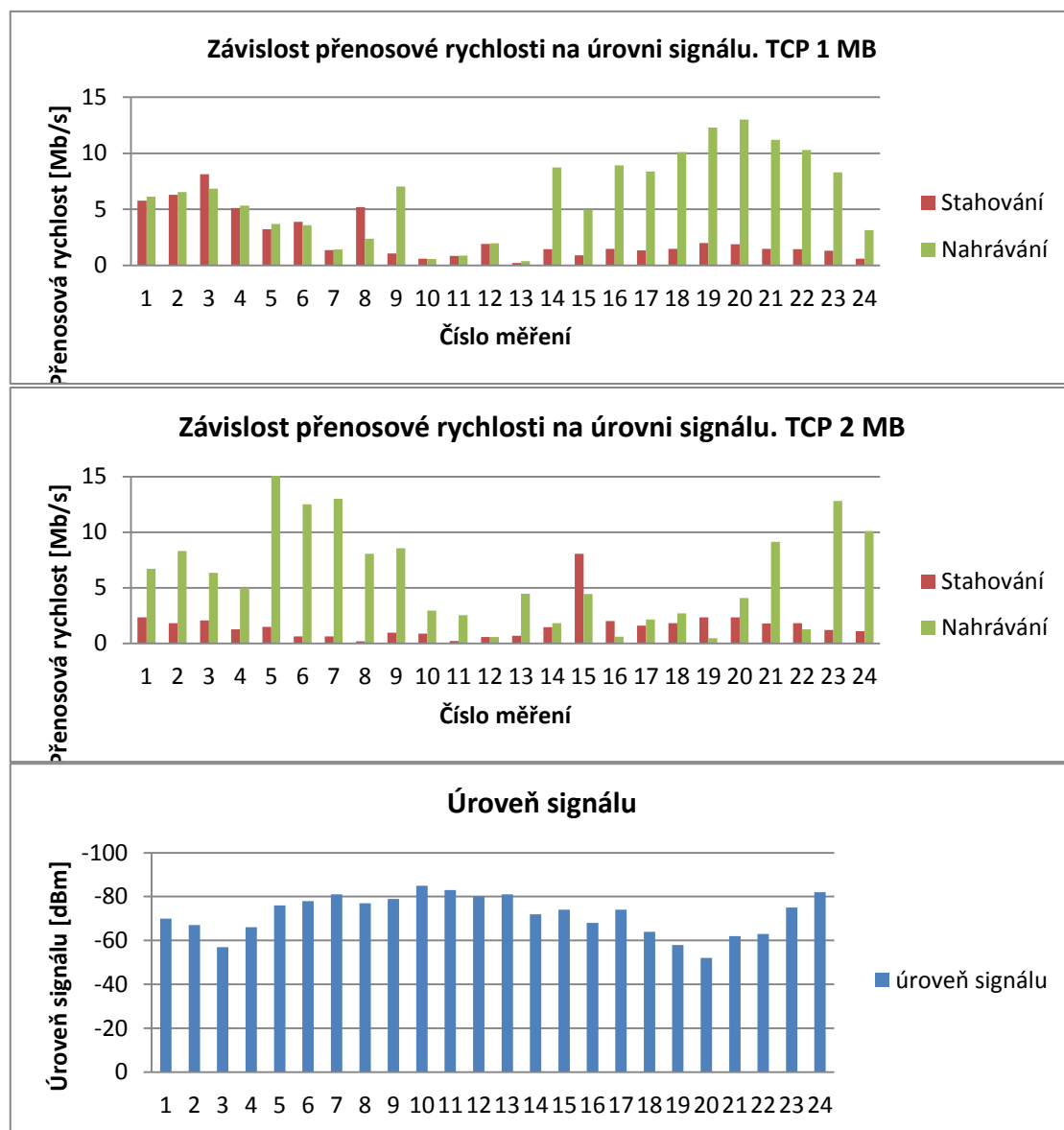
V prostorách 1. patra, se vyskytují místa, která nejsou dobře pokryta a už při úrovni signálu pod -72 dBm, klesá přenosová rychlost. Pod úrovní -80 dBm je rychlost již nedostatečná. Při zvětšení TCP okna z 1 MB na 2 MB došlo k celkovému zvýšení přenosové rychlosti nejvíce u nahrávání.



Obrázek 41: Dosažitelná přenosová rychlost v 1. patře

4.3.4.3 Přenosová rychlost 2. patro

Druhé patro je pokryto nejméně, úroveň signálu se zde pohybuje z velké části pod -70 dBm, proto zde není dosaženo maximálních rychlostí. Ve vzdálených místech od AP se úroveň signálu pohybuje pod -80 dBm, kde již přenosová rychlost strmě klesá. Při zvětšení TCP okna došlo ke zvýšení přenosové rychlosti nahrávání na úkor stahování.



Obrázek 42: Dosažitelná přenosová rychlost ve 2. patře

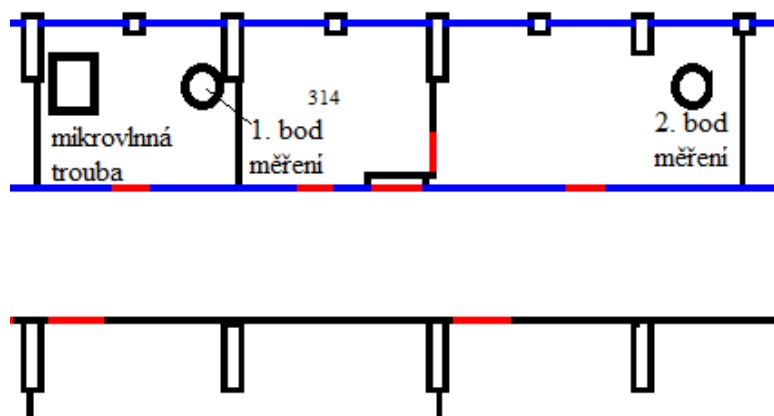
4.3.5 Měření rušení a spektra pomocí MetaGeek Wi-Spy [15]

Wi-Spy je přenosný USB spektrální analyzátor, který má velké rozlišení i rozsah amplitud. Umožňuje měřit rušení v pásmu 900 MHz, 2,4 GHz i 5 GHz. Pomocí něj můžeme určit, na kterých kanálech budou naše zařízení pracovat bez rušení od okolních přístrojů.

Pro měření byl použit analyzátor Wi-Spy DBX s frekvenčním rozsahem 2,400 - 2495 GHz a 5,150 - 5,850 GHz s rozsahem amplitudy -100 až -6,6 dBm a rozlišením 0,5 dBm. K analýze byl použit software Chanalyzer Pro 2,400 - 2,495 GHz. Analýza proběhla na každém patře v předem vybraných 4 místech, na kterých se signály přístupových bodů překrývaly.

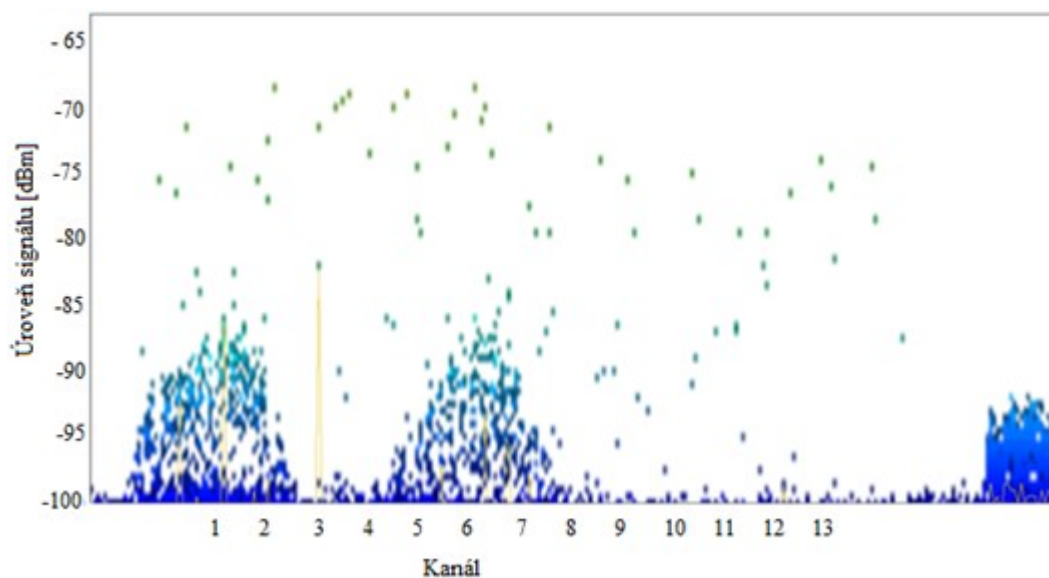
Pomocí analyzátoru bylo také změřeno rušení od mikrovlnné trouby, která se v budově nachází. K zobrazení byl použit typ grafu Densinty View maps, který zobrazuje body rušení, s určitou frekvencí a amplitudou ve vztahu, jak často je používána. Mikrovlnná trouba byla umístěna v místnosti 313, kde proběhlo měření bez spuštění mikrovlnné trouby a se spuštěnou mikrovlnnou troubou.

1. bod měření byl umístěn 2 m od zdroje rušení a 2. bod byl umístěn přes 2 stěny 12 m od zdroje rušení.



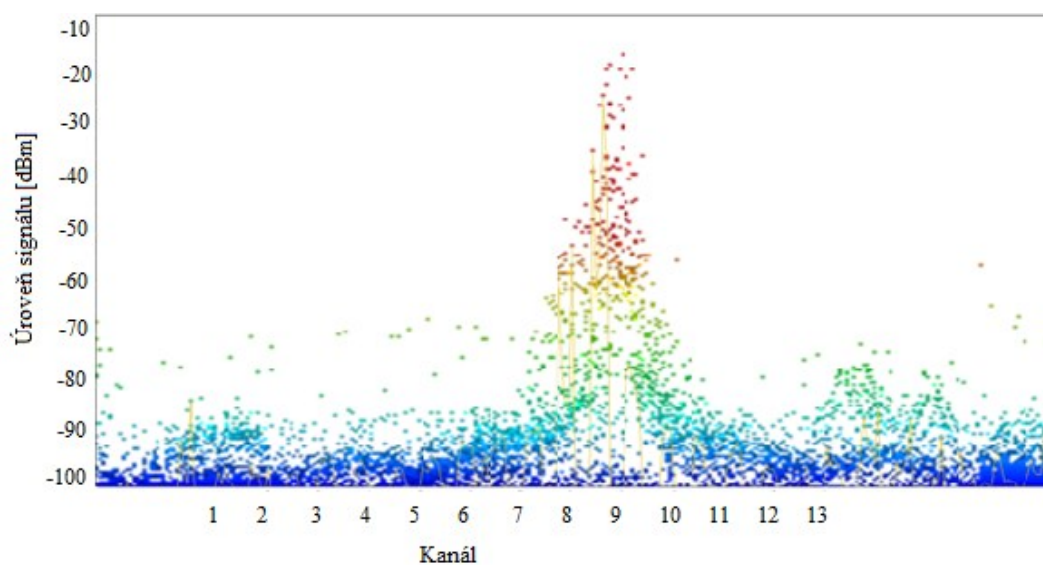
Obrázek 43: Měřené body

Na obrázku 39 je vidět vztah rušení s určitou amplitudou [dBm] ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz, kdy je frekvence vyjádřena v kanálech. Na 1. kanále vysílá jeden přístupový bod a na 6. kanále druhý přístupový bod. Jejich úrovně signálů se pohybují okolo -90 dBm.



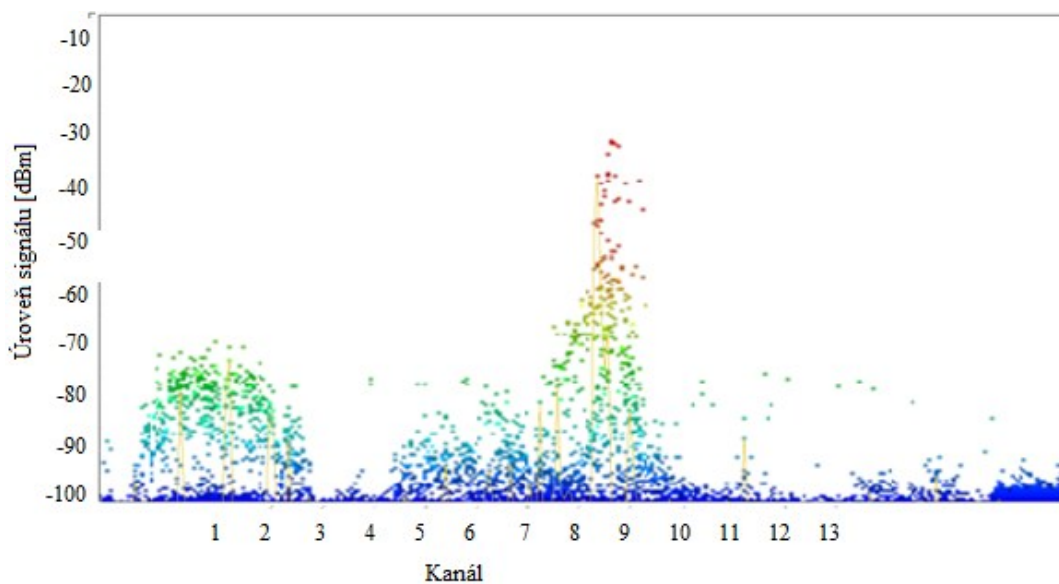
Obrázek 44: Density View maps bez rušení

Na obrázku 40 je vidět, jak se mikrovlnná trouba podílí na rušení. Nejvíce je rušen 8. a 9. kanál, ostatní kanály jsou rušeny mnohem méně. Rušení zde dosahuje až -20 dBm.



Obrázek 45: Rušení od mikrovlnné trouby na vzdálenost 2 m

Ve vzdálenosti 11 m a 3 příčky od zdroje rušení je stále rušení zřetelné na 8. a 9. kanále. Ostatní část spektra je rušena neznatelně.



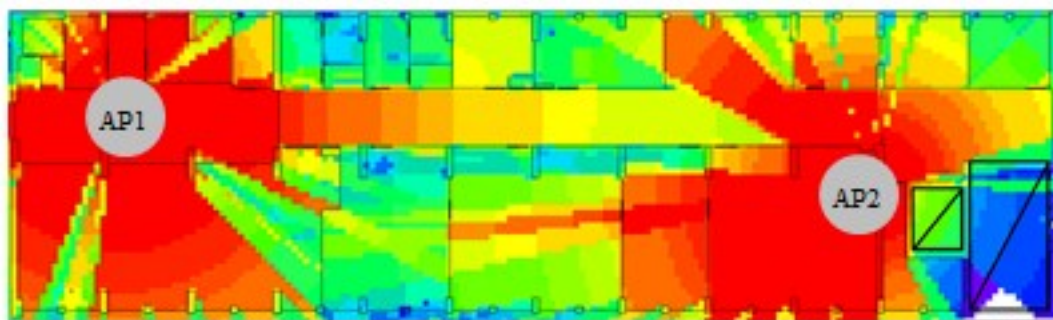
Obrázek 46: Rušení od mikrovlnné trouby na vzdálenost 11 m

Z toho vyplývá, že mikrovlnné trouby jsou podstatným zdrojem rušení na 8. a 9. kanále, proto by se tyto kanály neměly používat jako střední frekvence. Toto rušení může zapříčinit neustálé změny kanálů u technologie WLC, která si mění automaticky vysílací kanály na přístupových bodech.

4.4 Simulace návrhu nového rozmístění přístupových bodů

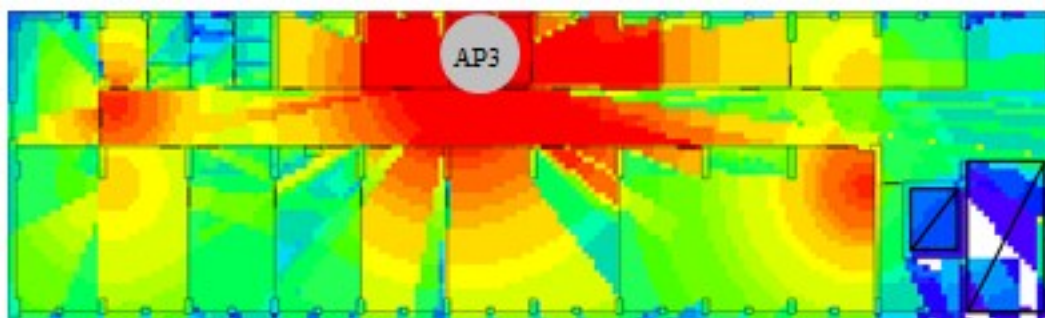
Jelikož pokrytí 1. a 2. patra bylo nedostatečné, bylo navrženo přemístění a přidání přístupových bodů. Rozmístěním přístupových bodů se počítalo s mezipodlažním pokrytím, nastavení simulačního programu bylo stejné, jako při simulaci původního stavu. V simulaci byly použity přístupové body s vysílacím výkonem EIRP = 20 dBm a se všesměrovou anténou. Jelikož jsou v pásmu 2,4 GHz pouze 3 samostatné kanály a to 1., 6. a 11., byly voleny kanály tak, aby nedocházelo k překrývání stejných kanálů. Při překrytí stejného kanálu se stejným SSID dochází k rušení, také by mohlo dojít k tomu, že se klient k žádnému přístupovému bodu nepřipojí. Při rozmísťování přístupových bodů byl brán zřetel na jejich bezpečnost, proto byly umístěny do učeben nebo kanceláří. Na dlouhou rovnou chodbu nebyly umístěny kvůli vlnovodnému efektu. Díky novému rozmístění přístupových bodů by mělo dojít k dosažitelnému Wi-Fi připojení v celé budově s dostatečnou rychlostí.

V přízemí byly rozmístěny 2 přístupové body, podle obrázku 42 ve výšce 2,8 m, aby pokrývaly také 1. patro. AP1 bylo nastaveno na 1. vysílací kanál a AP2 na 11. vysílací kanál, ale byla méně pokryta střední část budovy.



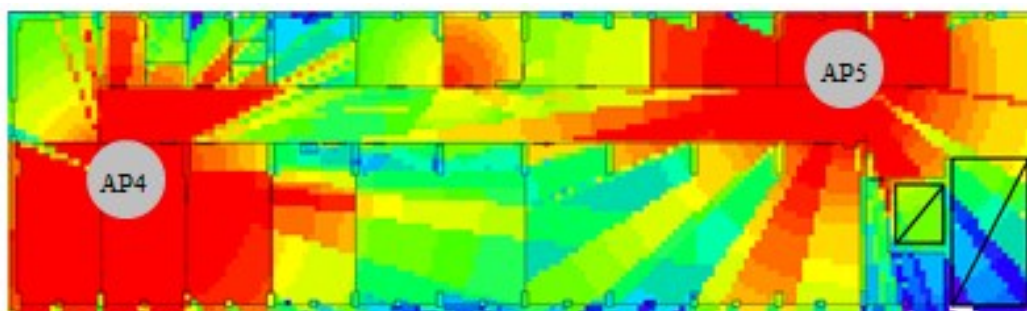
Obrázek 47: Rozmístění AP v přízemí

1. patro bylo pokryto od níže umístěných AP1 a AP2, střed tohoto patra nebyl pokryt, proto zde bylo nutné umístit další přístupový bod, což je vidět na obrázku 43 a aby nerušil již umístěné přístupové body na 1. a 11. kanále, AP3 se nastavilo na 6. kanál. Tím se také vyřešilo pokrytí střední části přízemí. Aby došlo k lepšímu pokrytí 2. patra, AP3 se umístilo ve výšce 2,8 m.



Obrázek 48: Rozmístění AP v 1. patře

Střed 2. patra pokrývalo AP3 umístěné v 1. patře, proto se zde umístily 2 AP, aby pokryly pravou i levou část budovy. Protože AP3 pokrývalo patro na 6. kanále, tak pro další AP zbyl 1. a 11. kanál. Zároveň, aby nedocházelo k rušení mezi AP umístěnými v přízemí a 2. patře, bylo AP4 nastaveno na 11. kanál a AP5 na 1. kanál. Umístění těchto AP lze vidět na obrázku 44.



Obrázek 49: Rozmístění AP v 2. patře

5 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s možnostmi návrhu pokrytí budov prostřednictvím simulačních programů, měření skutečného pokrytí budovy a dostupných přenosových rychlostí. Pro simulaci stávajícího i navrhovaného stavu pokrytí byl použit Multi Wall model v simulačním programu I-prop. Zde byly zohledněny veškeré konstrukční prvky budovy, u kterých byl také změřen jejich skutečný útlum.

Z analýzy stávajícího pokrytí vyplynulo, že bezdrátová síť pokrývá hlavně učebny. Kanceláře, které jsou vzdáleny od přístupových bodů, již nejsou kvalitně pokryty. Na dostupné rychlosti se podílí úroveň signálu i interference. Maximálních rychlostí lze dosáhnout podle citlivosti použitých zařízení, v tomto případě do úrovně signálu -71 dBm. Při porovnání simulovaných a skutečných úrovní signálu vyplynulo, že je modelování velice přesné, proto byl návrh nového pokrytí také simulován pomocí Multi Wall modelu v simulačním programu I-prop. Bezdrátová síť podle nového rozmístění přístupových bodů již dostatečně pokrývá budovu, také je dosažena větší kapacita sítě i přenosových rychlostí.

Z analýzy budovy pomocí spektrálního analyzátoru vyplynulo, že rušení pásma 2,4 GHz od okolních sítí je minimální, ale na rušení se podílí zařízení umístěné uvnitř budovy, jako jsou mikrovlnné trouby a bluetooth zařízení, které pracují také v pásmu 2,4 GHz.

Při řešení této práce byly získány podrobnější znalosti o principech fungování bezdrátových sítí standardu 802.11. Tato práce bude sloužit pro Centrum informačních technologií - oddělení infastruktury, která v měřené budově instalovala a spravuje přístupové body.

V příští práci se lze zabývat novým rozmístěním přístupových bodů v budově podle již vytvořeného návrhu, a tím rozšířit kvalitní pokrytí po celé budově. Dále se pokusit v této síti nastavit QoS (Quality of Service) a následně se zabývat jeho testováním.

6 Literatura

- [1] ZANDL, Patrick. Bezdrátové sítě Wi-Fi : Praktický průvodce. Vydání první. Nám. 28. dubna 48, 635 00 Brno: Computer press, 2003. 197 s. ISBN 80-7226-632-2.
- [2] [Http://www.earchiv.cz](http://www.earchiv.cz) [online]. 2002 [cit. 2011-04-13]. Vyznáte se ve standardech. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b02/b0900010.php3>>.
- [3] [Www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) [online]. 2.3.2011 [cit. 2011-04-15]. IEEE 802.11 - Wikipedie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11>.
- [4] ŘEHÁK, Jan. [Http://hw.cz](http://hw.cz) [online]. 21.6.2003 [cit. 2011-04-15]. Co je to Wi-Fi - úvod do technologie. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/ethernet/wifi/wifi_co_to_je.html>.
- [5] PUŽMANOVÁ, Rita. Bezpečnost bezdrátové komunikace: Jak zabezpečit Wi-Fi, Bluetooth, GPRS či 3G. Vydání první. Brno: Computer press, 2005. 179 s. ISBN 80-251-0791-4.
- [6] HRÁČEK, Jiří. [Http://www.intelek.cz](http://www.intelek.cz) [online]. 3.2.2009 [cit. 2011-04-15]. Intelek - článek - IEEE 802.11n - Zrychlete a rozšiřte svou bezdrátovou síť. Dostupné z WWW: <http://www.intelek.cz/art_doc-5C56A0147621A13AC12575510053AE3E.html>.
- [7] BROUŠKA, P. [Http://www.samuraj-cz.com](http://www.samuraj-cz.com) [online]. 03.11.2009 [cit. 2011-04-15]. Cisco Wi-Fi - základní principy a protokoly. Dostupné z WWW: <<http://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-wifi-zakladni-principy-a-protokoly/>>.
- [8] PLEXO, J. [Http://pctuning.tyden.cz](http://pctuning.tyden.cz) [online]. 27.6.2008 [cit. 2011-04-15]. Wi-Fi sítě - vše co jste kdy chtěli vědět. Dostupné z WWW: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/11138-wi-fi_site-vse_co_jste_kdy_chteli_vedet_12?start=3>.
- [9] [Www.ctu.cz](http://www.ctu.cz) [online]. 12-09-2010 [cit. 2011-04-04]. Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz. Dostupné z WWW: <http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2010/vo-r_12-09_2010-12.pdf>.
- [10] PECHAČ, Pavel. Šíření vln v zástavbě: modely pro plánování mobilních radiových systémů. 1. vydání. Praha: BEN, 2005. 108 s. ISBN 80-7300-186-1.

- [11] Csatshop [online]. 2011-04-28 [cit. 2011-04-28]. ISM14. Dostupné z WWW: <<http://www.csatshop.sk/product/ism14-37/>>.
- [12] Nakup [online]. 2011-04-28 [cit. 2011-04-28]. Směrová anténa Yagi XP. Dostupné z WWW: <<http://www.nakup.com/zbozi/smerova-antena-yagi-xp-16db-5m-kabel-rsma/detail.aspx?p=z:94491>>.
- [13] KOHRE, Thomas. Stavíme si bezdrátovou síť Wi-Fi. Vydání první. Brno : Computer Press, 2004. 295 s. ISBN 80-251-0391-9.
- [14] Openmaniak.php [online]. 10-12-2010 [cit. 2011-04-27]. Iperf. Dostupné z WWW: <<http://openmaniak.com/iperf.php>>.
- [15] Metageek [online]. 2011-04-27 [cit. 2011-04-27]. Wi-spy. Dostupné z WWW: <<http://www.metageek.net/products/wi-spy/>>.
- [16] I-prop. [online]. 2011-05-04 [cit. 2011-05-04]. I-prop. Dostupné z WWW: <<http://www.i-prop.cz/main.php?wp=features>>.